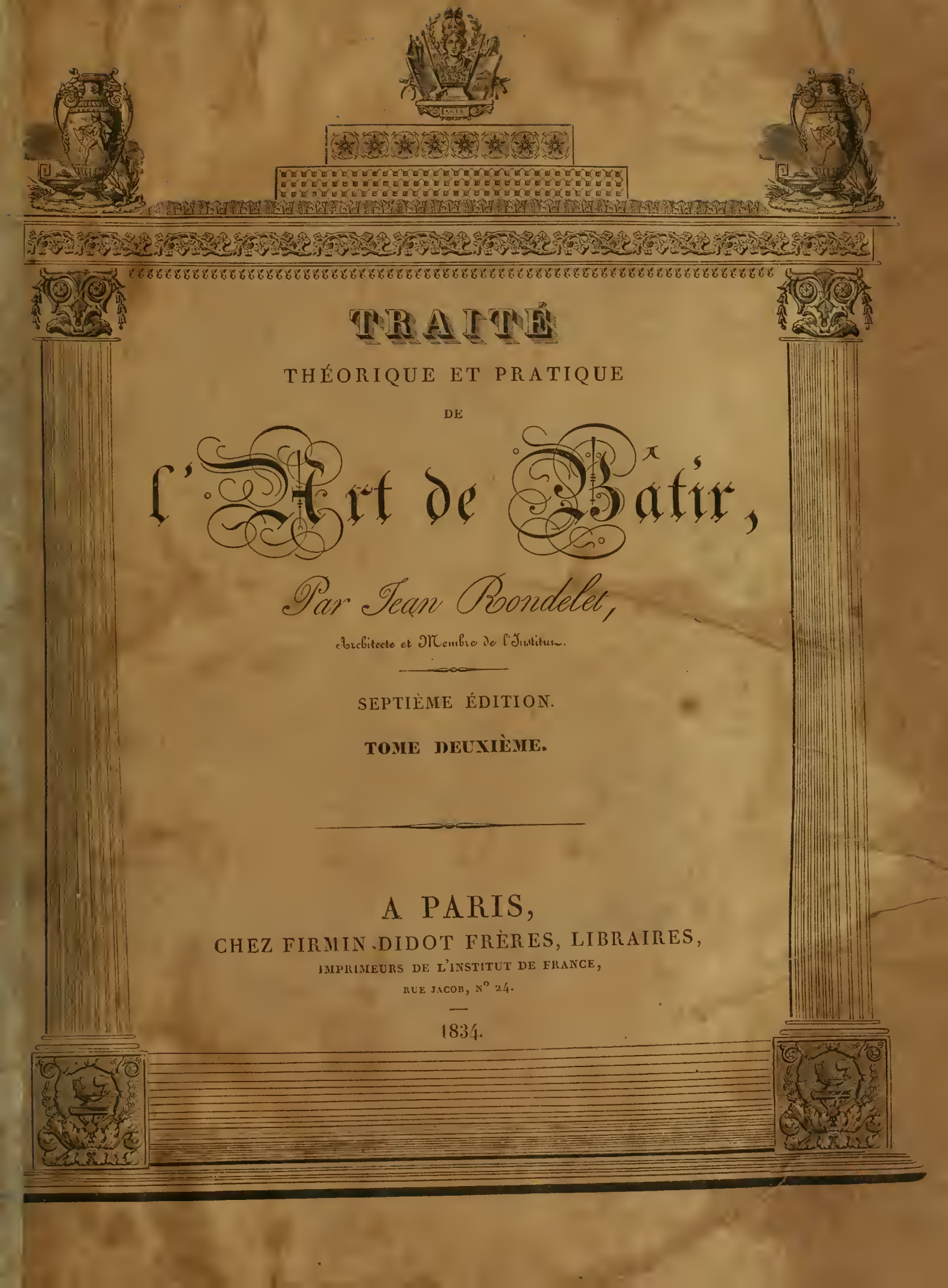
REGISTERED PROFESSION
A. R. GOU
PROVI

Digitized by the Internet Archive
in 2011 with funding from
University of Toronto

http://www.archive.org/details/traitthoriqu02rond



TRAITÉ

THÉORIQUE ET PRATIQUE

DE

L'Art de Bâtir,

Par Jean Rondelet,

Architecte et Membre de l'Institut.

SEPTIÈME ÉDITION.

TOME DEUXIÈME.

A PARIS,

CHEZ FIRMIN DIDOT FRÈRES, LIBRAIRES,

IMPRIMEURS DE L'INSTITUT DE FRANCE,

RUE JACOB, N° 24.

1834.

G. JACQUEMART
Architecte
A DOLE

TRAITÉ
THÉORIQUE ET PRATIQUE
DE
L'ART DE BÂTIR,

PAR JEAN RONDELET,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

SEPTIÈME ÉDITION.

TOME DEUXIÈME.

Louis Gonin

IMPRIMERIE DE FIRMIN DIDOT FRÈRES,
IMPRIMEURS DE L'INSTITUT DE FRANCE,
RUE JACOB, N° 24.

TRAITÉ

THÉORIQUE ET PRATIQUE

DE

L'ART DE BÂTIR,

PAR JEAN RONDELET,

ARCHITECTE,

MEMBRE DE L'INSTITUT.

TOME DEUXIÈME.

A PARIS,

CHEZ FIRMIN DIDOT FRÈRES, LIBRAIRES,

IMPRIMEURS DE L'INSTITUT DE FRANCE,

RUE JACOB, N° 24.

1834.

TRAITÉ
DE
L'ART DE BÂTIR.

LIVRE DEUXIÈME.
CONSTRUCTION EN PIERRES DE TAILLE.

CHAPITRE PREMIER.
DE L'APPAREIL DES CONSTRUCTIONS ANTIQUES.

Différens genres d'appareil, connus et pratiques par les anciens pour la construction des murs.

Les anciens peuples, et surtout les Egyptiens, qui ont construit des édifices en pierre de taille, ont affecté, pour les rendre plus solides et plus durables, d'y employer des pierres d'une grandeur considérable [1]. Indépendamment des obélisques et des temples monolithes, dont il a été question dans le premier Livre, on voit, avec étonnement, dans les restes des édifices antiques de l'Égypte, des pierres qui ont plus de 10 mètres de longueur, sur 3 ou 4 de largeur et 2 ou 3

[1] Le seul appareil en usage dans les monumens de l'Égypte est celui par rangs d'assises régulières, répondant à l'Isodomum des anciens, et qui peut être considéré comme le plus parfait, sous tous les rapports. Au reste, bien que leur système de construction soit, en général, très-remarquable par la régularité des pierres et la précision de leur taille, on ne trouve cependant, dans aucun des édifices antérieurs au siècle d'Alexandre, l'indication de l'appareil employé comme moyen de décoration.

d'épaisseur, dont le cube est de plus de 100 mètres, et le poids de 4 à 500 milliers.

Dans les ruines de Persépolis on trouve des pierres qui ont jusqu'à 52 pieds de longueur (17 mètres), sur 6 pieds ou 2 mètres de hauteur et autant de largeur. Une des assises du grand temple de Baalbek offre une longueur de 175 pieds $\frac{1}{2}$ (57 mètres) formée de trois pierres[1], dont une a 58 pieds 7 pouces, l'autre 58 pieds 11 pouces, et la troisième 58 pieds, c'est-à-dire, chacune 19 mètres; leur épaisseur commune est de 12 pieds ou 4 mètres.

Anne Comnène, en parlant des travaux que l'empereur Alexis, son père, fit exécuter pour assainir la ville de Nicomédie, dit qu'il n'épargna rien pour la dépense, et qu'il mit en œuvre des pierres qui ne pouvaient être remuées par moins de cent hommes.

On trouve dans toutes les parties du monde des monumens où l'on a employé des pierres d'une grandeur extraordinaire. Il existe en Amérique des constructions qui, sous ce rapport, peuvent figurer avec celles de l'ancien continent; telles sont les ruines d'une forteresse des anciens Péruviens, située auprès de Cusco. On y voit des pierres qui ont plus de 40 pieds de long, qu'on prétend avoir été transportées de plus de quatre cents lieues, par des chemins très-difficiles. On en remarque une, entr'autres, à laquelle on a donné le nom de *pierre fatigante*, à cause des difficultés extraordinaires qu'on a éprouvées pour la transporter; elle passe pour être la plus grande de toutes celles connues. L'architecte qui fut chargé de cette opération, nommé Colla Cunchy, y employa vingt mille hommes.

Les pierres de cette forteresse ont toutes des formes irrégulières, comme le grand *opus incertum*[2] des Romains. Les grandes pierres sont réunies par de plus petites, ajustées avec tant d'art et de précision, qu'à peine on aperçoit les joints; mais ce qu'il y a de plus étonnant, c'est que les Péruviens, qui les ont si bien façonnées, ne connaissaient pas l'usage du fer. Il est probable qu'ils ne parvenaient à leur donner cette perfection qu'en les frottant les unes sur les autres.

Dans les constructions antiques on remarque, en général, que les pierres ont été posées sans mortier, et immédiatement jointes les unes

[1] C'est sans doute pour cette raison que ce temple fut nommé τριλίθος, c'est-à-dire aux trois pierres.

[2] Appareil polygonal.

aux autres, sans cales ni démaigrissemens. Les surfaces des pierres qui se touchent sont dressées avec tant de soin et de précision, dans toute leur étendue, que les joints sont à peine sensibles; ce qui a fait croire que, pour les poser, on les frottait l'une sur l'autre afin de détruire les inégalités qui pouvaient les empêcher de se joindre.

Lorsque les pierres de taille n'avaient pas un volume suffisant pour qu'il en pût résulter le degré de stabilité convenable, les anciens les reliaient avec des crampons de fer ou de bronze, quelquefois même avec des clefs ou queues d'aronde de bois durci au feu.

Appareil simple et par assises réglées, chaque pierre formant l'épaisseur du mur. (Planche X, Figure 1re.)

Les noms que Vitruve emploie au Livre II, Chapitre VIII, pour distinguer les différens genres de maçonnerie en usage chez les Grecs et chez les Romains, et qui ont rapport à l'apparence ou à l'arrangement des pierres dont les murs sont formés, peuvent également s'appliquer aux ouvrages en pierre de taille. L'ἰσόδομος des Grecs, *opus isodomum* des Romains, présente à la fois l'appareil le plus simple et le plus parfait. C'est le plus universellement employé dans toutes les constructions antiques; mais ce n'est guère qu'aux murs des temples qu'on le trouve exécuté dans toute sa perfection. L'isodomum a toutes ses assises de même hauteur, chaque pierre d'égale longueur et formant l'épaisseur du mur. Plusieurs temples d'Athènes[1] et de Rome offrent l'isodomum très-exactement observé. Les Romains ont souvent employé le tracé de l'isodomum comme moyen de décoration sur les enduits dont les constructions en briques étaient revêtues : on en voit encore des vestiges aux murs extérieurs du Panthéon et du Temple de la Paix. Au reste, l'isodomum répond parfaitement à nos constructions par assises réglées[2].

[1] Voyez les antiquités d'Athènes, par Stuart.

[2] Le temple de la Concorde, à Girgenti (l'ancienne Agrigente), en Sicile, dont nous avons été à même d'étudier plus particulièrement la construction, offre un exemple remarquable de ce genre d'appareil. Toutes les assises dont les murs sont formés ont, à l'exception de la première du bas, 19 pouces (51 centimètres de hauteur). Les pierres de chaque assise, qui sont toutes égales, ont 3 pieds 10 pouces de longueur (1 mèt. 24 centim.). Leur largeur, qui forme l'épaisseur du mur, est de 2 pieds 8 pouces (87 centimètres). Cette construction, composée de pierres d'une moyenne grandeur, posées sans mortier,

Appareil double, formé de pierres d'égales dimensions, posées deux à deux en largeur, et seule en longueur, sur l'épaisseur du mur.

La Figure 2 offre une combinaison de pierres de même forme et de mêmes dimensions, disposées par assises de hauteur égale. Ces pierres, dont la longueur est double de la largeur, présentent alternativement une face carrée et une rectangulaire ou barlongue. Les pierres à face carrée forment seules l'épaisseur du mur, tandis qu'il en faut deux des autres. Cette disposition était en usage chez les Grecs, qui appelaient διατόνους les pierres B à doubles faces carrées, qui formaient l'épaisseur du mur : dans les constructions modernes on les désigne sous le nom de *parpains* [1].

subsiste encore en très-bon état. Elle a été si bien faite qu'on a pu dans la suite, dans une partie des murs latéraux, percer des arcades taillées dans le mur, comme on le voit à la Fig. 1re. de la Planche XVI. Ces arcades, qui ont 5 pieds 2 ou 3 pouces (1 mèt. 7 décimèt.) de largeur, ont été distribuées en raison de la régularité de l'appareil. Le cintre de chacune est évidé dans des pierres qui se soutiennent par leur liaison, indépendamment d'aucune coupe. On remarque même avec surprise, que la démolition d'un des piliers qui séparent les arcades n'a occasioné aucune désunion dans la partie de mur au-dessus, qui se soutient par les encorbellemens formés par les liaisons, et indiqués sur la même figure par les lettres *a*, *b*, *d*, *e*, *f*. L'espèce de pierre dont ce mur est construit ressemble à celle de Saillancourt, dont on s'est servi pour le pont de Neuilly *. Cette pierre, qui est grossière et poreuse, ayant été exposée pendant des siècles à toutes les intempéries de l'air, ne présente plus qu'un tissu aride composé de couches disposées dans le sens de ses lits de carrière. On voit, par la direction de ces espèces de rayures, qui sont tantôt parallèles, tantôt perpendiculaires ou obliques aux rangs d'assises, que ces pierres ont été posées indifféremment sur tous les sens, sans s'assujettir à leur lit de carrière.

[1] L'arrangement des pierres, dans la Fig. 5, Planche X, est le même que celui de la Fig. 2. Cette construction n'en diffère qu'en ce que le mur étant supposé plus épais, on a rempli l'intervalle qui se trouve entre les pierres qui ont leur longueur en parement, avec de la maçonnerie en blocage. Vitruve a parlé de cette espèce de construction ** que les Grecs appelaient ἐμπλεκτος. On en trouve plusieurs exemples dans les ruines des édifices antiques. On peut, par économie, adopter cette manière de bâtir, lorsque les murs n'ont pas une grande charge à supporter.

La Figure 7, même Planche, indique l'arrangement des pierres de taille qui forment le revêtement d'une tour construite pour servir de tombeau à *Cæcilia Metella*, fille de *Metellus Creticus*, et femme de *Crassus*, un des triumvirs.

Les têtes de bœuf qui sont dans la frise au-dessous de la corniche qui termine ce monument, lui ont fait donner le nom de *Capo di bove*, par lequel les Romains modernes le désignent.

Le revêtement présente à l'extérieur un appareil régulier de pierres à face carrée de

* Voyez, Livre Ier., première et deuxième Sections, pages 66, 211 et 212.

** Livre II, Chapitre VIII

Appareil triple, formé de pierres de dimensions égales, posées trois à trois en largeur, et seule en longueur, sur l'épaisseur du mur.

La Figure 3 présente une combinaison de pierres à peu près semblables aux précédentes ; mais, au lieu d'avoir dans un même rang des pierres alternativement barlongues et carrées, chaque rang est composé de pierres de même forme ; en sorte qu'un rang de pierres à face carrée se trouve entre deux rangs de pierres à face barlongue. Les pierres à face carrée forment toute l'épaisseur du mur, tandis qu'il en faut deux ou trois rangs de celles qui sont barlongues. Ces pierres, qui se relient en tous sens, forment une construction très-solide ; on en trouve plusieurs exemples dans les ruines des édifices antiques de Rome et des environs, entre autres une partie des murs du quai près l'embouchure des grands cloaques, une partie de mur à Palestrine, et les restes d'un tombeau antique près d'Albane.

Appareil composé, alternativement double et triple sur l'épaisseur du mur.

La Figure 4 indique une construction formée d'assises de deux hauteurs différentes, posées alternativement l'une sur l'autre. Les petites assises n'ont que les deux tiers des dimensions des grandes ; en sorte qu'il en faut trois petites pour former l'épaisseur du mur, et deux des grandes, ce qui produit une double liaison à l'intérieur et à l'extérieur.

Cet appareil, dont on trouve des exemples dans les constructions antiques, n'est pas désagréable, lorsque les pierres ont les proportions indiquées sur la figure : c'est le pseudisodomum des anciens. Les piédestaux au-devant des propylées d'Athènes sont appareillés de cette

même grandeur, posées en liaison les unes sur les autres, et distinguées par des refends ; mais le véritable appareil est semblable à celui de la Fig. 2, Planche X, composé de pierres à face alternativement carrée et rectangulaire ou barlongue, dont la longueur est double de la hauteur. Celles à face carrée ont une queue qui entre profondément dans l'épaisseur du massif de maçonnerie en blocage.

Piranesi, qui a donné les détails de ce monument à la Planche XLIX du troisième volume des Antiquités romaines, nous apprend que ces pierres étaient réunies par des crampons de métal

manière. Cette disposition a été imitée dans plusieurs édifices de Rome et d'Italie, où l'on a distingué chaque pierre par des refends [1].

Appareil irrégulier, formé de pierres de toutes dimensions, raccordées en assises rompues au moyen d'entailles sur tous sens.

On a rassemblé dans la Figure 8 toutes les irrégularités qui se trouvent dans l'appareil des édifices antiques construits en pierre de taille, et surtout dans les murs d'enceinte de la ville de Rome. On rencontre également de ces irrégularités dans les constructions modernes, parce que la pierre travertine ne se trouve pas par bancs, comme les pierres de Paris, et que son épaisseur varie presque pour chaque bloc; en sorte que, pour ménager cette pierre, on est souvent obligé de faire des raccordemens et des entailles pour l'employer, ainsi qu'on le voit au Colisée, au théâtre de Marcellus et à Saint-Pierre de Rome. Mais comme ces pierres ne sont pas sujettes à prendre des teintes différentes, et que la plupart sont posées sans mortier, ou avec du mortier fait avec du sable très-fin, les joints sont peu sensibles, et cette irrégularité ne s'aperçoit pas

[1] On voit dans la Figure 6 de la même Planche, une disposition d'appareil dont on a fait usage pour les revêtemens en pierre de taille des anciens murs de rempart de la ville de Montpellier. Ces revêtemens sont formés d'une espèce de grès appelé pierre de Pignan, dont il a été fait mention au Livre Ier., sous le n°. 231, page 81. Ces pierres, qui sont toutes de même forme et de mêmes dimensions, ont environ un mètre de longueur, sur un demi-mètre de largeur et un quart de mètre d'épaisseur; chaque assise est composée d'un rang posé alternativement de plat et de champ. Par cette disposition, le rang posé de plat fait liaison avec le milieu du mur, qui est construit en moellons maçonnés à bain de mortier et bien garni, ainsi que je l'ai remarqué dans plusieurs endroits dont les revêtemens paraissent avoir été détruits par le canon. (Les calvinistes s'étant emparés de cette ville sous le règne d'Henri III, elle fut reprise sous Louis XIII, en 1622, après un long siége.) On voit encore les traces des boulets sur plusieurs parties de ces revêtemens.

Ce genre de revêtement me paraît fort bien imaginé, lorsqu'on peut se procurer des pierres qui peuvent être posées en délit, et résister dans cette position à toutes les intempéries de l'air; et qui ne sont pas susceptibles de s'exfolier, comme presque toutes les pierres calcaires disposées par bancs, et entre autres celles de Paris.

[2] Les Figures 6 et 7 de la Planche IX représentent deux parties de murailles antiques, rapportées dans le *Musæum Etruscum* de Gori, tome III, page 65. La Figure 6 est tirée des restes d'une ancienne ville grecque, désignée sous le nom d'*Argos d'Ambracie*, située sur les côtes de la mer Adriatique, dans le golfe de Larta.

La Figure 7 est prise dans les ruines de l'ancienne ville de Calydon, dans le golfe de Corinthe. Gori assure que ces constructions ont été exactement dessinées et mesurées sur les lieux par Cyriaque d'Ancône, antiquaire, peintre et architecte, en 1436.

Ces constructions sont faites en très-grandes pierres, posées sans mortier et bien jointes.

Appareil polygonal, formé de pierres taillées en prismes irréguliers.

L'appareil en pierres polygonales, représenté par la Figure 9, est encore plus irrégulier; il a été copié d'après une partie des murailles de Fondi (*Fundi*), dans le royaume de Naples : les pierres dont il est composé ont jusqu'à 8 ou 9 pieds de longueur sur 4 à 5 pieds de haut. C'est ainsi que sont bâtis les murs de l'ancienne ville de Cori (*Cora*), près de Velletri (*Velitræ*), et de plusieurs autres villes des anciens Étrusques, telles que Volterra (*Volaterræ*), Fiesoli (*Fesulæ*) et Cortone (*Corto* ou *Cyrtonium*), où l'on remarque des pierres qui ont jusqu'à 20 pieds de longueur.

L'appareil en pierres polygonales ne diffère de la maçonnerie nommée par Vitruve *opus incertum*, qu'en ce que cette dernière n'étant formée que de petites pierres brutes et irrégulières, qui ne peuvent se toucher que par des points, n'a de solidité que par le mortier qui les unit en remplissant les intervalles qu'elles laissent entr'elles. Ce remplissage leur procure un double avantage; le premier, de pouvoir être soutenues dans toute l'étendue de leurs surfaces; et l'autre, qui dépend de la propriété du mortier, est de les unir avec une plus grande force.

Dans les constructions en pierre de taille dont il s'agit, les joints et les lits sont faits de manière que ces pierres peuvent se joindre immédiatement et se soutenir mutuellement par toute l'étendue de leurs sur-

On voit dans chacun de ces murs une arcade de 6 à 7 pieds de largeur, qui paraît avoir été percée dans la masse après leur construction. La partie cintrée de l'arcade percée dans la muraille d'Argos est prise dans deux pierres d'une même assise, de manière qu'il se trouve un joint d'aplomb au milieu. Ces pierres ont chacune 10 pieds de long sur 5 pieds de haut, et forment l'épaisseur du mur qui peut avoir 4 pieds. Dans la même construction il se trouve des pierres depuis 12 jusqu'à 18 pieds de longueur; l'assise du bas a 6 pieds de hauteur.

De chaque côté de l'arcade on lit une inscription grecque en très-grandes lettres : celle à droite signifie *Céphalos*, *doux* ou *humain;* et celle à gauche, *Andronique*, *percepteur des contributions*, *vous salue.*

La partie de muraille tirée de l'ancienne ville de Calydon est formée de pierres de différentes hauteurs, posées dans une même assise; en sorte que les plus hautes répondent quelquefois à deux assises, sans liaison. Les pierres les plus longues ont 22 pieds, leur plus grande hauteur d'assise est de 5 pieds. Le cintre de l'arcade est creusé dans deux pierres, ce qui réduit leur épaisseur à rien dans le milieu, mais elles sont recouvertes par une seule pierre de 29 pieds de longueur* : chacune de ces constructions porte par le bas une espèce de moulure ou demi-base.

On n'a pas évalué ces pieds en mètres, parce qu'on ne sait pas de quelle espèce de pied il s'est servi : cependant il est probable que c'est du pied romain.

faces, ce qui leur procure le premier avantage des constructions en petites pierres maçonnées en mortier. Quant au second, il se trouve compensé par la pesanteur; car une pierre pesant dix milliers, posée sur son lit, peut être considérée comme une masse de maçonnerie adhérente à cette surface avec une force égale à ce poids : telle serait une pierre de dureté moyenne, dont la longueur serait de 12 pieds, la largeur de 4 pieds, et la hauteur de 2 pieds, produisant 72 pieds cubes. Mais si cette pierre, au lieu d'être rectangulaire, était de forme irrégulière, comme celle de la Figure 9, et posée sur des plans ou lits inclinés en sens contraire, tels que *b*, *c*, *d*, il est certain qu'à volume égal elle aurait encore plus de stabilité, par la manière dont elle se trouve enclavée avec celles du tour; il en est de même de l'appareil rectangulaire de la Figure 8, dont les pierres sont retenues par des entailles, telles que *g*, *h*.

Cependant lorsqu'il s'agit de pieds-droits isolés, ou de murs qui ont peu d'épaisseur et beaucoup d'élévation, l'appareil rectangulaire par assises de niveau est le seul qui puisse convenir. Il doit être préféré, dans tous les cas, à cause de sa régularité, à moins que la forme naturelle des pierres ne permette pas d'en faire usage, en raison de la trop grande dépense ou du temps qu'il faudrait pour les équarrir. L'appareil polygonal peut être employé lorsque l'opération est très-pressée, et qu'on est obligé de se servir de pierres de toutes sortes de formes, rassemblées à la hâte, comme les anciens l'ont souvent pratiqué, pour réparer des brèches, ou construire des murs d'enceinte de villes. On remarque, dans presque tous les restes de murailles des anciennes villes grecques, des mélanges de toutes les constructions en pierres d'une grandeur considérable.

Au reste, ce qui vient d'être dit sur les constructions en pierres polygonales, fait assez connaître que ce genre d'appareil serait peu propre à l'emploi de pierres disposées par rang d'assises dans les carrières.

Appareil enchaîné, formé de pierres alternativement refouillées sur chaque lit pour s'encastrer les unes dans les autres.

La Figure Ire. de la Planche XI indique une manière de relier les pierres de taille les unes aux autres, sans le secours des crampons ni des clefs de bois, par la forme seule de leur appareil. Cet exemple, cité par Piranesi, est tiré du théâtre de Marcellus à Rome. Le lit des pierres

est divisé en quatre parties par deux lignes droites qui se croisent au centre à angles droits, et qui aboutissent au milieu de chaque face. Deux de ces parties diagonalement opposées sont recreusées d'environ 2 pouces, et les deux autres deviennent saillantes. Ces pierres sont superposées, de manière que chacune en réunit deux, par le moyen des parties saillantes de la pierre supérieure, qui s'enclavent dans les entailles des deux pierres inférieures, auxquelles elles répondent; ainsi qu'on le voit indiqué dans la Figure citée, par des lignes ponctuées tirées du lit de dessous de la pierre A, élevée en l'air, aux parties correspondantes du lit de dessus des deux pierres C et D, avec lesquelles elle doit s'enclaver.

Appareil mixte, formé de pierres et de poutres combinées ensemble.

Lorsque les anciens avaient à faire des murs de ville, ou des constructions qui exigeaient des épaisseurs considérables, et que la promptitude avec laquelle ils devaient être exécutés ne leur permettait pas d'y apporter toutes les précautions qu'ils avaient coutume de prendre, ils se servaient, pour les relier, de pièces de bois. Voici comment Vitruve s'exprime au cinquième Chapitre du premier Livre :

« Quant à l'épaisseur du mur, je pense qu'elle doit être d'une dimen-

[1] La Figure 2 de la même Planche indique une autre manière de réunir les pierres, en formant de chaque assise une espèce de chaîne composée d'un triple rang de pierres qui s'enclavent les unes dans les autres. C'est un moyen que j'imaginai en 1769, pour résoudre un problème qui m'avait été proposé par Germain Soufflot, savoir : de former en pierre de taille, un cercle capable d'être suspendu verticalement par un seul point; ou de former un mur circulaire assez fort pour résister à la plus grande poussée, sans y employer d'autre matière que la pierre. Il en sera parlé au neuvième Livre. On se contentera d'observer que, si l'on pouvait compter sur l'uniformité dans la bonté de la pierre, sur l'exactitude de l'exécution, et dans les effets qui peuvent en résulter, tels que ceux du tassement, et sur la résistance du sol, ce moyen pourrait être extrêmement solide et avantageux. Mais, outre qu'il deviendrait très-coûteux, lors du mouvement inévitable qui s'opère toujours lorsque la masse d'un édifice vient d'être terminée et qu'elle prend son assiette, la moindre inégalité dans les résistances fait souvent que tout l'effort ne se porte que sur quelques points avec une force capable de rompre ces pierres, et de détruire l'effet qu'on s'était promis de leur assemblage. D'ailleurs, dans les constructions ordinaires par rangs d'assises de niveau, bien faites, la pose des pierres les unes sur les autres, leur liaison, leur poids, leur adhérence produite par le mortier employé convenablement, leur donnent une solidité suffisante à beaucoup moins de frais.

» sion telle que deux hommes armés, allant en sens contraire, puissent » passer l'un à côté de l'autre sans se gêner.

» On établira dans l'épaisseur du mur des espèces de chaînes en » bois d'olivier, durci au feu, de manière à relier ensemble, comme » avec des crampons, les deux paremens du mur, ce qui lui procurera » une résistance à toute épreuve.

» Car ni les intempéries de l'air, ni la vermoulure, ni le temps, ne » peuvent altérer ce bois ainsi préparé; et, soit qu'il doive être enfoui » dans la terre ou placé dans l'eau, il s'y conserve toujours sain et sans » altération.

» C'est pourquoi on peut employer utilement ce moyen, non-seule- » ment pour les murs de ville, mais encore pour les substructions, et » pour toutes sortes de murs dont l'épaisseur est considérable, afin de » leur assurer une plus grande fermeté [1]. »

[1] Crassitudinem autem muri ità faciendam censeo, uti armati homines, supra obviam venientes, alius alium sine impeditione præterire possint.

Tùm in crassitudine ejus perpetuæ taleæ oleagineæ ustulatæ quàm crebriter instruantur, uti utræque muri frontes inter se, quemadmodum fibulis, his taleis colligatæ æternam habeant firmitatem.

Namque ei materiæ, nec tempestas, nec caries, nec vetustas potest nocere, sed ea in terrâ obruta et in aquâ collocata permanet sine vitiis utilis sempiternò.

Itaque non solum in muro, sed etiam in substructionibus, quique parietes murali crassitudine erunt faciendi, hâc ratione religati non citò vitiabuntur.

[1] Ce moyen de relier les murs avec des pièces de bois a été autrefois en usage à Lyon. Je me souviens d'avoir vu, dans des anciennes maisons que mon père était chargé de faire démolir, des liaisons dans les murs mitoyens, formées par des poutres qui faisaient l'épaisseur du mur, dont la longueur était de 12 à 15 pieds; la plupart étaient en bois de noyer bien conservées : mon père les vendait aux menuisiers pour faire des meubles, à cause de la belle couleur foncée qu'elles avaient acquise. Il paraît que le bois de sapin se conserve aussi dans le mortier; car, dans la démolition d'une partie de l'ancien cloître des Jacobins, qui avait été distribuée pour le concile général tenu à Lyon en 1245, on trouva que les planches de sapin des cloisons de distribution, appelées *galandages*, revêtues de mortier des deux côtés, étaient sans vermoulure et bien conservées.

Une construction plus curieuse en ce genre est celle d'un ancien jeu de paume, avec des ornemens gothiques, dont les murs étaient à moitié formés par des morceaux de bois de chêne posés en liaison comme des pierres de taille; ils avaient 9 à 10 pouces de gros sur 2 pieds ½ de long, parfaitement bien joints, et formant une superficie bien droite et lisse, qui présentait l'apparence d'une belle construction en pierre de taille. C'est aux amateurs et aux gens de l'art qu'il appartient de juger si ce genre de revêtement peut présenter quelque avantage.

Jules César, dans le septième livre de ses Commentaires sur la guerre des Gaules, parle aussi d'une manière de bâtir des murs avec des poutres, de la pierre de taille et de la terre, qu'il explique ainsi :

« Presque tous les murs de rempart des Gaulois sont construits de » cette manière : ils commencent par poser sur le sol des poutres éloi- » gnées parallèlement les unes des autres de 2 pieds, et, après les avoir » reliées par d'autres posées en travers, ils les garnissent de beaucoup » de terre.

» Les intervalles entre les poutres sont garnis, sur la face apparente, » de grandes pierres posées en liaison ; au-dessus du premier rang on en » pose un autre de même grandeur, afin de conserver entre les poutres » un même intervalle, de manière qu'elles ne se touchent pas, mais » qu'elles paraissent séparées les unes des autres par des espaces égaux, » en plaçant, avec art, alternativement, des poutres et des pierres. C'est » ainsi que tout l'ouvrage s'exécute, jusqu'à ce que les murs soient par- » venus à la hauteur qu'ils doivent avoir.

» Cet ouvrage présente une variété qui n'est pas désagréable à la vue, » par le mélange alternatif de bois et de pierres, dont les assises sont » formées : il procure en outre de grands avantages pour la défense et » la sûreté des villes ; car les pierres mettent les murs à l'abri des in- » cendies, et les poutres font qu'ils résistent aux efforts du belier. Cette » combinaison de poutres, dont la plupart ont 40 pieds de longueur, » et qui sont fortement réunies à l'intérieur, ne peut être ni rompue » ni enfoncée [1].»

[1] Muris autem omnibus Gallicis hæc ferè forma est : trabes directæ perpetuæ in longitudinem, paribus intervallis, distantes inter se binos pedes, in solo collocantur : hæ revinciuntur introrsùs et multo aggere vestiuntur.

Ea autem, quæ diximus, intervalla grandibus in fronte saxis effarciuntur. Iis collocatis, et coagmentatis, alius insuper ordo adjicitur, ut idem illud intervallum servetur ; neque inter se contingant trabes, sed paribus intermissæ spatiis, singulæ singulis saxis interjectis, arte contineantur. Sic deinceps omne opus contextitur, dum juxta muri altitudo expleatur.

Hoc quùm in speciem varietatemque opus deforme non est, alternis trabibus, aut saxis, quæ rectis lineis suos ordines servant : tùm, ad utilitatem, et defensionem urbium, summam habet opportunitatem, quod et ab incendio lapis, et ab ariete materia defendit quæ perpetuis trabibus pedes quadragenos plerumque introrsùs revincta, neque perrumpi neque distrahi potest.

Presque tous les auteurs qui ont interprété ce passage, ont prétendu que ces poutres de 40 pieds formaient l'épaisseur du mur; mais il ne se trouve rien dans le texte qui puisse justifier cette opinion : il semble plutôt donner à entendre que ces poutres étaient placées selon la longueur du mur, et que celles posées en travers, dont le bout paraissait à la face extérieure, n'avaient pas 40 pieds; car le texte ne dit pas que toutes les poutres avaient cette longueur; mais la plupart (*plerumque*).

Les Figures 6 et 7 de la Planche XI, indiquent la manière dont je pense que ces murs pouvaient être construits.

Chaque rang de poutres, tant longitudinal que transversal, formait ensemble une espèce de grillage d'une seule épaisseur, parce que les pièces étaient entaillées à mi-bois. Par cette disposition, le parement intérieur se trouve semblable au parement extérieur : les intervalles carrés formés en dedans par le croisement des poutres étant remplis de terre bien battue, il devait résulter de cet arrangement, des murs de rempart extrêmement solides, capables de résister aux efforts du belier sans se désunir [1].

Indépendamment des différentes formes d'appareil dont il vient d'être question, les monumens antiques offrent encore d'autres variétés dans l'apparence extérieure de leur construction, que l'on peut considérer comme des modifications des exemples ci-dessus détaillés, et dont les formes et proportions ressortent bien plus des données de la décoration, que des principes fondamentaux de l'Art de bâtir.

[1] Dans la traduction italienne des Commentaires de César, imprimée à Venise en 1575, dont on attribue les figures à Palladio, cette espèce de mur n'est composé que de poutres de quarante pieds, posées en travers, c'est-à-dire, formant l'épaisseur du mur, portant d'un bout sur une assise de pierre de la face extérieure, et assemblées de l'autre dans un grillage à plomb qui forme la face intérieure, et qui paraît composé de pièces assemblées à mi-bois. Mais il faut observer que par cette disposition, indiquée par la Figure 4, les bouts des grandes poutres répondant aux endroits où les pièces du grillage se croisent, ne peuvent être soutenus que par des tenons emmanchés dans des mortaises pratiquées dans des pièces de bois déjà affaiblies par des entailles, et que le reste de la longueur des poutres n'est soutenu que par les terres du remplissage; d'ailleurs, cette combinaison ne présente pas une solidité suffisante pour résister aux coups de belier : ils auraient facilement enfoncé ces poutres, qui ne se trouvaient reliées nulle part dans l'intérieur, comme l'indique le texte des Commentaires, par le mot *introrsùs*, qui ne veut pas dire ici la face intérieure, mais le dedans même du mur.

Juste Lipse, dans son Traité sur les Machines de guerre des anciens, publié à Anvers en 1599, sous le titre de *Poliocerticon*, donne une figure de ces murs qui diffère de celle de Palladio. Il place des poutres à chaque rang d'assises, mais il les dispose de manière

CHAPITRE DEUXIÈME.

PRINCIPES DE L'APPAREIL POUR LES MURS, PILIERS ET MASSIFS EN PIERRES DE TAILLE.

De la stabilité.

En faisant abstraction du mortier, ou de tout autre moyen dont il est possible de faire usage pour relier les pierres de taille, on peut considérer les constructions de ce genre comme des assemblages de corps solides, qui se soutiennent en résistant, par leurs formes et leurs positions, aux efforts combinés qui résultent de leur pesanteur.

La pesanteur est une force constante avec laquelle tous les corps solides paraissent agir lorsqu'ils ne sont retenus par aucun obstacle. Dans les solides de différentes espèces, la pesanteur est proportionnée à la quantité de matière contenue sous un même volume, en sorte que celles dont les parties sont les plus fines et les plus rapprochées, pèsent davantage : ainsi, le fer, la pierre, ont une plus grande pesanteur que le bois.

De la direction de la pesanteur.

Un solide quelconque, suspendu à un fil assez fort pour le soutenir, le tend selon une direction verticale ou d'aplomb, c'est-à-dire perpendiculaire à l'horizon, ou à une surface de niveau, Figure Ire. Planche XII.

Non-seulement les corps entiers tendent à suivre cette direction, mais encore chacune de leurs parties. Ainsi un corps pesant, suspendu par un fil, prend à son égard une situation telle que les parties opposées, relativement à une ligne qui traverserait ce corps en suivant le prolongement du fil, sont également pesantes, ou agissent avec des efforts

que chacune répond au milieu de l'espace de celle du rang supérieur ou inférieur. Par cet arrangement, indiqué par la Figure 5, il ne se trouve pas d'assises sans poutre, comme dans la figure de Palladio ; il en résulte un assemblage un peu plus solide, parce qu'il n'y a que la moitié des poutres qui soit soutenue par des tenons, et que les autres, passant entre les pièces horizontales du grillage qui forme la face intérieure, portent solidement dans toute leur épaisseur sur les pièces inférieures, et servent elles-mêmes d'appui aux pièces supérieures, de manière à pouvoir se passer de montans à plomb. Mais ni l'une ni l'autre de ces dispositions ne peuvent produire cette *forte union des poutres à l'intérieur*, qui faisait la principale force de ce genre de construction, d'après le texte, et que nous avons tâché de rendre par la disposition que nous avons proposée, indiquée et détaillée par les Figures 6 et 7.

égaux; de sorte que cette ligne peut être regardée comme un axe d'équilibre. Toutes les fois qu'on change le point de suspension d'un corps, la direction du fil, prolongée, donne un nouvel axe d'équilibre; mais ce qu'il y a de remarquable, c'est que tous ces axes se rencontrent en un même point G situé au centre de la masse du corps, Figure 2.

Du centre de gravité.

La propriété de ce point unique, qu'on nomme centre de gravité, est telle, que toutes les fois qu'un corps est soutenu par une puissance qui résiste dans le sens de la direction verticale, que ce point tend à suivre, et dont l'action se dirige sur ce point, le corps entier se trouve soutenu : c'est pourquoi un corps suspendu par un fil reste immobile lorsque le centre de gravité se trouve dans la direction de ce fil, Figure 3.

Un corps pesant pourrait encore se soutenir sur une pointe ou un seul point de sa surface, pourvu que cette pointe ou ce point fussent précisément dans la ligne ou direction verticale passant par le centre de gravité; mais cette condition, qui s'opère d'elle-même dans les corps suspendus, devient extrêmement difficile, et souvent impraticable pour les corps posés sur une pointe ou sur un seul point de leur surface, Figure 4, parce que rien ne fixe le corps pour arriver à ce point, tandis que le fil n'abandonne pas le corps qui lui est attaché. D'ailleurs l'état d'équilibre, qu'un rien peut détruire, n'est pas celui qui convient aux parties des édifices; il leur faut un degré de stabilité, ou force surabondante capable de résister aux efforts qu'ils peuvent avoir à soutenir.

Si l'on place un corps irrégulier, Figures 5 et 6, sur un plan de niveau et qu'il pose sur une de ses surfaces *d*, *e*, disposée de manière que la perpendiculaire *a*, *b*, abaissée du centre de gravité, ne sorte pas de sa base, ce corps se maintiendra sur le plan avec un degré de stabilité exprimé par la différence des parties *e*, *d*, *h*, et *e*, *h*, *k* : mais comme *c*, *a*, *b*, est un axe d'équilibre, la partie comprise entre *c*, *b*, *d*, sera exactement égale à *c*, *b*, *k*, et la différence qui exprime le degré de stabilité sera *c*, *b*, *e*, *h*. Si l'extrémité *e* de la surface du corps se trouvait précisément à l'endroit où tombe la perpendiculaire abaissée du centre de gravité, ce corps se soutiendrait en équilibre en ne portant que sur une ligne, dans la direction de ce point; mais le moindre effort le

ferait culbuter en tournant sur le point *e*. Enfin si la verticale *a*, *b*, abaissée du centre de gravité, tombait hors de l'extrémité *e* de la base, Fig. 6, le solide ne pourrait pas demeurer dans cette situation.

Il résulte de tout ce que nous venons de dire, qu'un solide, d'une figure quelconque, a toute la stabilité dont il est susceptible, lorsqu'aucune des verticales abaissées des points de son contour ne tombe hors de sa base.

Ainsi les prismes, les parallélipipèdes ou cylindres dont les faces sont perpendiculaires à leurs bases, représentés par les Figures 8, 9, 10, 11, 12 et 13, posés sur un plan horizontal, ont toute la stabilité qui peut résulter de leur forme.

Le centre de gravité de ces solides étant placé sur l'axe qui répond au centre de la base, il en résulte une résistance égale sur tous les sens : mais il est essentiel d'observer que la stabilité des prismes de même base diminue en raison de leur hauteur; ainsi les parallélipipèdes indiqués par les Figures 23, 24, 25 et 26, dont les hauteurs sont comme 1, 2, 4 et 8, ont une stabilité qui est comme 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{8}$ de leur poids, en supposant ces solides exactement réguliers et posés bien d'aplomb sur un plan parfaitement droit et de niveau ; mais comme il est impossible d'atteindre à cette perfection, la diminution de la stabilité suit une progression beaucoup plus rapide; en sorte qu'un prisme qui aurait plus de quarante fois sa base ne pourrait plus se soutenir.

La stabilité des solides de même base diminue en raison de la hauteur de leur centre de gravité; ainsi dans les prismes, les parallélipipèdes et les cylindres, le centre de gravité étant situé sur l'axe à moitié de leur hauteur, tandis que dans les pyramides et les cônes il est placé au quart, il en résulte que la stabilité d'une pyramide est à celle d'un prisme de même base et de même hauteur comme 2 est à 1, c'est-à-dire qu'elle est double.

La résistance des solides de même forme et de même hauteur est en raison du diamètre de leur base, et non pas en raison de leur superficie. Ainsi la stabilité des parallélipipèdes représentés par les Figures 19, 20, 21 et 22, dont les bases sont comme 1, 2, 4 et 8, est comme $\sqrt{1}$, $\sqrt{2}$, $\sqrt{4}$ et $\sqrt{8}$.

Ce que nous venons de dire sur la stabilité suffit pour expliquer les effets qui résultent de la forme et de la disposition des pierres de taille employées à la construction des édifices. On reviendra sur cet objet au neuvième Livre, lorsqu'il s'agira d'évaluer leur effort et leur résistance

Position et forme à donner aux pierres de taille pour les murs et pieds-droits.

Puisque toutes les parties des corps solides et pesans tendent à descendre selon une direction verticale ou d'aplomb, il est évident qu'ils ne peuvent être parfaitement soutenus que sur un plan horizontal ou de niveau. Ainsi la forme qui convient le mieux aux pierres de taille pour former des murs ou pieds-droits, doit être celle d'un parallélipipède ou prisme à plomb, c'est-à-dire, d'un solide placé sur un plan horizontal, et terminé par des surfaces verticales. Ces pierres étant posées les unes sur les autres en liaison et par rangs d'assises de niveau, tout l'effort de la pesanteur tombera sur leur base, et tendra à les consolider; en sorte que la pression de chaque pierre l'une sur l'autre augmentera leur stabilité. Si ces constructions sont bien faites, elles auront presqu'autant de solidité que si elles étaient d'une seule pièce.

Comme c'est l'effet de la pesanteur qui unit ces pierres les unes aux autres, il est évident que plus elles seront grandes, plus elles auront de stabilité et plus leur union sera solide; mais il faut que leurs lits soient bien dressés et dégauchis, afin qu'elles portent également partout; car plus elles sont grandes, plus elles sont sujettes à se rompre, lorsqu'il se trouve des endroits qui ne portent pas. L'effort qui cause la rupture, occasione alors un dérangement dans toute la construction, qui la rend vicieuse : certains points portent une charge considérable sous laquelle ils se brisent, tandis que d'autres ne se touchent pas. La solidité et la perfection des constructions en pierre de taille, qui doivent être indépendantes de tout mortier, ciment ou autre moyen de les unir, consistent en ce que les pierres soient immédiatement posées les unes sur les autres, comme le pratiquaient les anciens, et qu'elles se touchent dans toute l'étendue de la superficie de leurs lits et de leurs joints.

C'est à la précision avec laquelle les constructions en pierres polygonales ont été faites, qu'il faut attribuer leur parfaite conservation. Ces pierres sont si bien jointes et enclavées les unes dans les autres, que leur stabilité est souvent plus grande que celle des pierres équarries. En effet, si l'on considère dans la Fig. 9 de la Planche X la pierre irrégulière *a*, *b*, *c*, *d*, posée sur un plan de niveau *e*, *f*, il est évident qu'elle ne pourra pas se soutenir sur le point *e* qui pose sur le plan; mais si on la place sur les plans inclinés en sens contraire *b c*, *c d*, elle aura plus

de stabilité que si elle était terminée par une surface droite *e*, *f*, posée sur un plan de niveau, parce que pour la déranger, il faudrait, en lui conservant la forme angulaire *b*, *c*, *d*, la faire remonter sur un des plans inclinés *b c* ou *c d*, ou la faire tourner autour d'un des points *b* ou *d*, ce qui exigerait beaucoup plus de force que pour faire couler une pierre à surface plate *e*, *f*, sur un plan de niveau, ou la faire tourner autour des points *e* et *f*.

Il faut encore remarquer que dans les constructions en pierres équarries, les joints d'aplomb ne contribuent en rien à leur stabilité; tandis que ceux des constructions en pierres polygonales étant inclinés en sens opposé, servent à l'augmenter, par la manière dont les pierres se trouvent enclavées les unes dans les autres. Nous ferons encore remarquer, en parlant des grandes routes [1], que cette disposition valait mieux pour les pavés que celle par rangées parallèles et joints carrés, parce que les angles obtus sont plus solides que les angles droits.

Cependant, quoi qu'il en soit des propriétés de l'appareil polygonal, on ne saurait espérer aucun avantage de son emploi, ailleurs qu'aux constructions auxquelles il était affecté chez les anciens, savoir : pour des masses de constructions qui n'ont pas de charge à soutenir, et qui ne doivent résister que latéralement, telles que des digues, des murs de ville ou remparts. D'ailleurs, comme nous l'avons dit plus haut, cet arrangement ne saurait convenir qu'à certaines espèces de pierres, et l'on peut juger, par tout ce qui est dit dans ce Livre, que l'art de batir possède d'autres moyens de procurer toute la solidité possible aux constructions, pour les cas où les anciens ont employé l'appareil polygonal.

Des dimensions des pierres.

On remarque dans plusieurs constructions anciennes et modernes, que les pierres trop minces, c'est-à-dire, qui ont trop peu d'épaisseur relativement à leur longueur, se rompent sous la charge. Ces accidens proviennent de ce que les pierres ne portent pas également dans toute l'étendue de la surface de leurs lits, soit parce que ces surfaces n'ont pas été exactement dressées et dégauchies, soit par l'effet de quelque tassement inégal qui a dérangé les pierres inférieures. Plus les pierres ont d'épaisseur relativement à leur longueur, plus elles ont de force

[1] Livre IV, Ire. Section, Chapitre Ier.

pour résister à cet effet, qu'il est souvent très-difficile de prévoir ou d'empêcher.

Pour les ouvrages qui ont de fortes charges à soutenir, tels que les murs et points d'appuis, les pierres cubiques sont les plus fortes; mais elles ont moins de stabilité, et ne forment pas assez de liaison. Celles dont la longueur est beaucoup plus grande que la hauteur, ont plus de stabilité, et forment de bonne liaison; mais elles ont moins de force pour résister au fardeau. D'après les expériences que nous avons faites sur presque toutes les espèces de pierres, la longueur des pierres d'une dureté et d'une consistance moyenne, peut être fixée entre deux et trois fois leur hauteur ou épaisseur, et leur largeur entre une fois et demie et deux fois cette même épaisseur.

Lorsqu'on a des pierres dures d'une grande fermeté, et qui portent plus d'un pied d'épaisseur toutes taillées, on peut leur donner jusqu'à quatre à cinq fois leur hauteur en longueur, et deux ou trois fois pour leur largeur : de plus grandes dimensions sont plus dispendieuses qu'utiles. Dans la Planche XIII, la Figure 1re. indique la forme des pierres cubiques : celle représentée par la Figure 2, a sa longueur et sa largeur égales à une fois et demie la hauteur. La longueur de la Figure 3 est double de sa hauteur, et sa largeur a une fois et demie : ce sont les dimensions qui conviennent aux pierres qui n'ont pas beaucoup de dureté. Les dimensions de la Figure 4 sont pour la longueur de trois fois la hauteur, et pour la largeur deux fois : ce sont les proportions qui conviennent aux pierres d'une dureté moyenne. La Figure 5, qui a en longueur quatre fois sa hauteur, sur une largeur double, indique les proportions qui conviennent aux pierres dures.

On trouve dans les constructions antiques plusieurs exemples de pierres presque cubiques, tels que les restes de la prison Tullia près du Capitole à Rome, à l'Arc de Janus, au Colisée; quelques-unes ont près de 2 mètres sur tous sens.

Les anciens ont aussi employé de très-grandes pierres pour former des plafonds et des architraves d'une seule pièce ; on en trouve dans les restes des anciens édifices de la Haute-Égypte qui ont jusqu'à 9 à 10 mètres en carré, sur une épaisseur considérable.

J'ai mesuré une des architraves qui avait servi au grand temple de Selinonte en Sicile; elle a 20 pieds 2 pouces de longueur, sur 6 pieds 8 pouces de haut et 4 pieds $\frac{1}{2}$ de large, c'est-à-dire, 6 mètres $\frac{1}{2}$ de long,

2 de haut et 1 ½ de large; son poids doit être de plus de 90 milliers : elle est représentée par la Figure 12; la perspective empêche de juger de sa longueur.

Nouvelle méthode pour l'appareil des massifs et revêtemens en pierre de taille.

Lorsqu'on aura des massifs considérables à construire en pierres de taille, on pourra les disposer de manière qu'elles tendent, par leur appareil, à ne former qu'une seule masse, indépendamment de tout autre moyen de les relier, tels que le mortier, les goujons de fer et les crampons de bronze, dont les anciens ont fait un très-grand usage.

Le moyen que je propose, indiqué par la Figure 1 de la Planche XIV, consiste à donner une légère inclinaison vers le centre aux lits des assises dont ces massifs sont formés. Il résulte de cette disposition que la stabilité se trouve augmentée par l'action combinée de la pesanteur, dont une partie est détournée de sa direction naturelle, par l'effet des plans inclinés, pour se porter au centre dans tous les sens. Cependant, pour ne pas déroger au principe général de l'appareil, qui veut que les lits et joints soient toujours perpendiculaires aux surfaces extérieures, il faudrait donner un peu de talus à ces surfaces; cette modification augmenterait encore la stabilité de ces constructions, en leur donnant plus de base [1]. Cette disposition serait surtout d'un très-grand

[1] Ce moyen, qui peut paraître surabondant pour une infinité d'occasions, est susceptible de recevoir une application utile dans la construction des phares et autres ouvrages maritimes exposés à la violence inouie des tempêtes. Le phare d'Edistone (Planche XIV, Figures 7, 8, 9, 10 etc), dont nous avons parlé au Livre Ier., page 22, au sujet des granites dont il est revêtu, fournit un exemple vraiment remarquable à l'appui de cette assertion. La relation de tous les travaux de sa construction, qui se trouve consignée dans un magnifique ouvrage publié par l'auteur, M. Smeaton, a été traduite en français par M. Pictet de Genève, et extraite en partie dans le second Recueil de Mémoires publiés par M. Le Sage, en 1808.

« Le roc d'Edistone est le sommet escarpé d'une montagne de granite, cachée sous les eaux de l'Océan; sa surface inclinée s'élève de si peu au-dessus de leur niveau, qu'elle disparaît deux fois par jour sous la marée. D'autres sommets moins élevés, qui ne se montrent qu'à la basse mer, l'environnent et forment des écueils qui rendent l'abord du roc principal difficile et dangereux. D'autres circonstances contribuent encore à repousser le navigateur le plus hardi. Le rocher est taillé à pic à la hauteur de 85 pieds dans toute sa circonférence; la mer n'est jamais tranquille dans ces parages, et les vagues viennent frapper contre cette espèce de mur avec une violence qui fait rejaillir l'eau à

avantage pour les revêtemens, qui tendent généralement à se détacher des maçonneries auxquelles ils sont appliqués, parce que la différence de leur construction les rend susceptibles d'un tassement inégal. Les murs de terrasses et de remparts, qui ont de plus la poussée des terres à soutenir, devraient être préférablement construits de cette manière.

trente ou quarante pieds. Pour donner une idée des obstacles qui s'opposaient à l'entreprise de M. Smeaton, il suffira de dire que dans les mois les plus calmes de l'année, dans les périodes les plus importantes du travail, dans lesquelles les matelots et les ouvriers étaient pressés d'aborder, par le puissant motif d'un paiement à tant par heure, M. Smeaton, et tout son monde, ont souvent demeuré huit jours, quelquefois dix, douze, quatorze, et une fois dix-huit jours consécutifs à l'ancre, devant ce redoutable rocher, sans pouvoir en tenter l'abordage, quoique la mer ne fût point fortement agitée ailleurs. »

Déjà deux phares avaient été bâtis sur ce rocher; le premier, achevé en 1698, avait entièrement disparu lors de la furieuse tempête du 26 novembre 1703; le second, construit en bois, sur un noyau en maçonnerie, fut dévoré par un incendie, après avoir duré près d'un demi-siècle.

M. Smeaton, appelé, sur sa réputation, pour rétablir un ouvrage devenu désormais indispensable, proposa de le reconstruire en pierres, et persista dans son projet malgré les difficultés que devait présenter son exécution. La lecture des ouvrages de Bélidor paraît d'abord lui avoir suggéré l'idée de fixer solidement la base de la tour du phare avec le rocher, au moyen d'entailles en forme de queue d'aronde, ainsi qu'on l'a pratiqué au pavé de la grande écluse de Cherbourg. C'est ce même moyen d'assemblage, combiné ensuite en un système d'appareil, qu'il employa pour ne former qu'une seule pièce des pierres dont se composait chaque assise, et dont le volume, eu égard aux difficultés du transport et de la pose, ne pouvait excéder 10 pieds cubes pour le granite et 11 pour la pierre. Pour relier les assises entre elles, il fit usage de cubes de marbre, encastrés par moitié dans chaque lit, et assura encore la solidité de toute la masse, au moyen de nombreux crampons de fer scellés en plomb.

L'auteur avait aussi pensé à former chaque assise à la manière des articulations basaltiques, en ménageant alternativement sur chacune d'elles une convexité et une concavité qui se correspondissent, mais il préféra le moyen que nous venons d'indiquer.

Tout en rendant justice aux talens supérieurs qu'a montrés cet ingénieur dans une entreprise aussi difficultueuse, il n'est cependant pas hors de propos de faire observer qu'on ne saurait fonder un grand espoir sur la force de plusieurs de ses assemblages; En effet, on a peine à concevoir que les pierres découpées qui forment le noyau de la tour aient pu résister, sans se rompre, au seul ébranlement imprimé à la masse par la violence des flots pendant la tempête. Nous ignorons l'état actuel de cet important ouvrage, mais nous serions surpris que ces parties trop fragiles ne se fussent pas rompues, ce qui, sans nuire à la solidité de l'ensemble, prouverait au moins l'insuffisance de ce moyen.

Au reste, on ne voit pas trop pourquoi l'imitation des articulations basaltiques dans la forme des assises, qui a quelques rapports avec l'appareil que nous proposons ici pour les massifs, a été jugée moins praticable; surtout lorsque l'on considère que la perfection de la taille avait été poussée à un tel point que, chaque assise essayée d'avance sur le rivage, pouvait ensuite être replacée, de la même manière, à un quarantième de pouce près.

Leur résistance, à masse égale, deviendrait plus grande, par la tendance au centre qui résulterait de cette disposition des pierres.

On a imaginé les talus pour renforcer les murs et procurer une plus grande solidité à certains ouvrages, tels que les substructions et les murs de remparts. Mais, en faisant les lits des assises de niveau, il n'en résulte pas tout l'avantage que ces talus pourraient procurer si les lits étaient perpendiculaires à leurs surfaces; car les angles alternativement aigus et obtus que forment les lits horizontaux avec la surface inclinée du mur, ne sont pas sans inconvéniens.

Dans les murs de terrasse, ces angles inégaux deviennent vicieux, parce que l'effet de la poussée des terres qui tend à les renverser, se porte sur les angles aigus qui sont les plus faibles, ce qui fait qu'ils sont sujets à s'éclater. Le tassement inégal produit souvent le même effet dans les murs en talus qui n'ont point de poussée à soutenir : c'est pourquoi il faut éviter, autant qu'il est possible, de faire les angles des lits des pierres inégaux. Les Figures 2 et 3 de la Planche XIV peuvent dispenser d'une plus grande explication.

Au lieu de talus on forme quelquefois, en dedans ou en dehors des murs, des parties saillantes auxquelles on donne les noms de contre-forts, éperons ou piliers buttans, afin de leur procurer plus de force ou de résistance contre les efforts qu'ils peuvent avoir à soutenir, tels que la poussée des terres ou des voutes.

On place les contre-forts à de certaines distances les uns des autres, et on leur donne plus ou moins de saillie; mais, quelle que soit leur disposition, il est essentiel qu'ils soient bien liés au mur auquel ils doivent servir d'appui; qu'ils soient construits en même temps sur les mêmes fondemens, pour qu'ils ne puissent pas s'en détacher, et entraîner le mur au lieu de le soutenir. C'est ce que pourraient faire des contre-forts appliqués après coup, et érigés sur d'autres fondemens que ceux du mur.

Il ne faut pas non plus que le genre de construction adopté pour les contre-forts soit susceptible d'un plus grand tassement que le mur; ainsi, des contre-forts en briques, appliqués à un mur en moellons, ne vaudraient pas des contre-forts en moellons appliqués à un mur en briques, parce qu'il y a moins de danger lorsque c'est le mur qui entraîne les contre-forts, que si ce sont les contre-forts qui entraînent le mur. Le mieux est de les construire en pierres de taille, ainsi que les

parties de murs auxquelles ils tiennent. Quel que soit, au surplus, le genre de maçonnerie employé à la construction des contre-forts, l'inclinaison donnée aux assises dont ils sont composés, dirigée perpendiculairement à celle de leur talus, ne peut manquer de concourir puissamment à leur effet.

Quant à la forme et aux dimensions qu'il convient de donner aux talus et aux contre-forts des murs qui soutiennent un effort latéral, tel que la poussée des terres ou des voûtes, c'est un des objets dont il sera question dans le Livre neuvième.

CHAPITRE TROISIÈME.

DE LA POSE.

Perfection de la pose chez les anciens.

C'est une vérité généralement reconnue aujourd'hui, par l'observation d'un grand nombre d'édifices antiques, que les anciens constructeurs posaient les pierres sans mortier, ou que celui dont ils faisaient usage était si clair et si fin, qu'il ne servait qu'à remplir les inégalités des lits et n'empêchait pas que les parties entre ces inégalités ne posassent immédiatement les unes sur les autres. En faisant déposer quelques pierres de taille dans les ruines des édifices antiques de Rome et de Sicile, j'ai trouvé que les renfoncemens des piqûres des lits étaient remplis d'une espèce de mortier très-fin, fait avec de la poudre de la même pierre. Peut-être aussi est-ce le résultat du frottement qu'on leur faisait éprouver, afin de les faire mieux joindre, en usant les parties trop saillantes qui les empêchaient de porter également partout.

La méthode de poser les pierres à cru les unes sur les autres est bonne pour les constructions en très-grandes pierres, qui ont par elles-mêmes une stabilité capable de procurer une force d'union suffisante; mais dans les ouvrages en pierres de taille de petite ou de moyenne grandeur, l'usage du mortier bien employé peut être très-utile pour augmenter leur union et leur adhérence, et leur donner une plus grande stabilité. Dans ces circonstances, les anciens ont ordinairement fait usage, au lieu de mortier, de goujons et de crampons de bronze ou de fer, scellés en plomb, comme on le voit aux Figures 4 et 5 de la Planche XIV. Pockocke dit avoir trouvé dans les ruines d'Héliopolis, en Égypte, les restes d'un mur de 3 pieds 8 pouces d'épaisseur, dont les pierres étaient reliées par des crampons de fer. Quelquefois ils se servaient de clefs de bois très-dur et liant, taillées en queues d'aronde-marquées A dans la Figure 6. B fait voir l'entaille qu'on faisait dans les pierres pour les placer. J'ai trouvé dans les ruines des édifices antiques de Rome, près de l'ancienne voie Appia, des pierres avec de semblables entailles.

Venuti, en parlant des restes du *Forum* de Nerva (*monument plus connu sous le nom de Temple de Mars vengeur*), du côté de l'arc appelé de *Pantani*, dit (*Parte I^a., Cap. IV*) : Le mur formant l'enceinte exté-

rieure est remarquable, tant par sa hauteur que parce qu'il est composé de quartiers de pierres d'Albane, posés sans mortier avec des bossages rustiques : il est encore digne de fixer l'attention, parce qu'il suit les détours que formait la rue antique. Cet auteur ajoute qu'un architecte nommé Flaminius Vacca, ayant à faire des constructions joignant cette enceinte, dans le monastère de l'Annonciade, trouva, en démolissant une partie du mur antique, des pierres de taille réunies avec de ces clefs, taillées en queue d'aronde, d'un bois fort dur, et si bien conservées qu'on aurait pu les remettre en œuvre. On fit voir ces clefs à différens ouvriers qui ne purent pas désigner l'espèce de bois dont elles étaient faites.

Vice des constructions modernes en pierre de taille.

Le vice de la plupart des constructions modernes en pierre de taille, ne vient pas de ce qu'elles sont posées avec du mortier, mais du peu de soin qu'on apporte, en général, dans la taille des lits et surtout dans la pose des pierres. Nous disons la plupart, car on peut en citer de très-bien exécutées, et exemptes de tous les défauts dont nous allons parler.

Nous avons déjà dit que les anciens constructeurs avaient un soin particulier de bien dresser les lits et les joints des pierres, pour qu'elles pussent se joindre dans tous les points de leurs surfaces, afin de former des masses aussi solides et aussi stables que si elles eussent été d'un seul bloc, et qui ne fussent susceptibles d'aucun tassement ni d'aucune irrégularité de pression.

Pour parvenir à ce degré essentiel de perfection, qu'on admire dans tous les monumens antiques, et éloigner tous les motifs et les difficultés qui auraient pu nuire à l'exactitude de la pose, ils formaient des masses plus considérables que celles que devait avoir l'édifice terminé, afin de n'être pas gênés par des parties apparentes déjà faites ou ébauchées.

Les anciens édifices de l'Égypte paraissent avoir été terminés ainsi dans des masses préparées pour toutes les formes; quelques parties demeurées en masse, l'irrégularité et le défaut de symétrie dans les rapports de dimensions, confirment suffisamment cette assertion. En sorte que ce n'est point, comme dans les constructions modernes, la construction qui a été assujettie aux formes apparentes, mais bien ces dernières qui ont été déterminées par les masses déjà construites.

Dans la plupart des constructions modernes, ce sont malheureuse-

ment les surfaces apparentes, préparées sur le chantier, qui dirigent les tailleurs de pierre et les poseurs. Pourvu que l'ouvrage présente à l'extérieur les formes et la régularité qu'il doit avoir, ils s'embarrassent peu de la solidité, qui devrait cependant être la partie essentielle. Cette négligence est fondée sur ce que, par un abus inconcevable, on ne mesure l'ouvrage des tailleurs de pierre que sur les surfaces apparentes, en comprenant dans le prix qu'on leur accorde, celui des lits et joints sans les mesurer, d'où il résulte un prix insuffisant pour les bien faire. Les anciens toiseurs et vérificateurs, qui tiennent à tous les abus des prétendus us et coutumes, se refusent à tout ce qui peut y être contraire. Ainsi, d'une part, ils se font un devoir de compter le vide comme plein, et d'allouer aux entrepreneurs des ouvrages et des fournitures qui n'existent pas, tandis qu'ils refusent ce qui est légitimement dû. On entrera à ce sujet dans un plus grand détail dans la dernière partie de cet ouvrage.

Il résulte de cette mauvaise manière d'évaluer les ouvrages en pierre de taille, que les lits et joints sont très-négligés et mal faits, gauches ou démaigris, de manière qu'il n'y a que l'arete de devant qui porte. Les lits, au lieu d'être parallèles, sont plus rapprochés à l'extérieur qu'à l'intérieur; pour poser ces pierres, on les échafaude sur des coins et des cales, afin de contenter les surfaces apparentes. Ces pierres étant ainsi échafaudées sur des cales et des coins de bois, plus ou moins épais, en raison des défauts de la pierre, on introduit dans les joints montans du coulis, et du mortier clair dans ceux des lits avec un instrument appelé *fiche* représenté par la Figure 7 de la Planche XV, garni de dents relevées qui poussent le mortier, qu'on empêche de sortir avec la truelle lorsqu'on retire la fiche. On a soin, en faisant cette opération, de ne point déranger la pierre de dessus ses cales, coins et calots. Pour bien ficher le mortier sous la pierre, il faut que les joints de lits aient au moins 7 ou 8 lignes d'épaisseur, c'est-à-dire, 22 à 25 millimètres; mais comme de si grands joints présenteraient à l'extérieur un effet désagréable, on réserve, le long des paremens, un petit bord de 4 à 5 pouces de largeur (11 à 13 centimèt. $\frac{1}{2}$), qui est dressé, et le long duquel l'épaisseur du joint se trouve réduite à environ une ligne et demie (3 millim.). On démaigrit grossièrement le surplus des lits, en sorte que les joints sont à l'intérieur 4 à 5 fois plus larges qu'au parement[1].

[1] On ne peut voir, sans le plus grand étonnement, M. Patte, architecte, dans un de ses ouvrages qui a pour titre, *Mémoire sur les objets les plus importans de l'archi-*

On régularise l'épaisseur des joints des paremens en mettant sur le bord des lits, qui ne sont pas recreusés ou démaigris, des lattes de bois de chêne qui ont toutes la même épaisseur, lorsque les pierres sont bien

tecture, imprimé en 1769, citer sans critique et proposer pour exemple cette manière de tailler et de poser les pierres, employée alors pour les grandes constructions qui se faisaient à Paris, et surtout pour celle de la nouvelle église de Sainte-Geneviève. Voici comment il s'explique aux pages 185 et 186.

« L'ouvrier, en taillant sa pierre suivant les dimensions qui lui sont tracées par l'ap-
» pareilleur, observe non-seulement de laisser quelques mains (ou bossages) du côté du
» parement, mais encore de pratiquer sur les bords de chaque lit quatre ou cinq pouces
» de lisse ou de plumée, *marqués p, p, p*, (*Figures* 6, 7 et 8, *Planche XIII*), et de
» faire, sur le reste de la superficie, un petit renfoncement *marqué r, r, r*, de 3 ou 4 li-
» gnes, destiné à recevoir le mortier : il a encore l'attention de tailler une autre plumée,
» *marquée d, d, Figure* 6, de 3 ou 4 pouces de largeur, sur le bord intérieur du joint
» montant du parement, et de laisser le reste brut. De plus, il lui est recommandé de
» tenir l'angle de sa pierre, qui doit former le joint montant, plutôt maigre que gras,
» afin d'avoir une ligne ou deux à ôter sur place.

» Lorsqu'une pierre est préparée de cette manière, elle est en état d'être placée sur
» son cours d'assise. Pour cet effet, les poseurs commencent par mettre des cales de
» chêne C (*Figure* 6, *Planche XV*), d'environ 2 lignes d'épaisseur, sur la plumée des pierres
» de l'assise inférieure qui doit la recevoir ; ils font répondre ces cales aux différens angles
» de la pierre en question, en évitant toutefois de les placer trop près des arêtes, de
» crainte qu'elles ne les fassent éclater lors du tassement ; ensuite les ouvriers élèvent
» cette pierre sur le cours d'assise inférieur, et la posent en liaison et bien de niveau, à
» l'aide des mains de pierre : après l'avoir approchée de celle qui l'avoisine, afin que leurs
» angles se touchent, ils terminent le joint montant sur place, de manière à le rendre
» presque imperceptible, avec une petite scie à main, de l'eau et du grès.

» Après cette opération, les ouvriers introduisent de la filasse entre le bord du joint
» du lit et du parement, et la font entrer de force, pour que le mortier qui doit être
» coulé entre ces pierres soit retenu ; ils versent de l'eau où ils ont délayé de la chaux
» par les joints supérieurs des pierres, afin de les bien abreuver, et d'empêcher qu'elles
» ne boivent trop promptement l'eau du mortier, ce qui nuirait à son action sur les
» pierres dans les pores desquelles il ne doit s'incorporer que peu à peu. Enfin ils finissent
» par couler le mortier, tant par l'intervalle des joints montans, que par celui des joints
» de lit qui ne sont pas apparens ; et pour que l'espace entre chaque joint horizontal soit
» rempli, *autant que faire se peut et également*, ils se servent, à cet effet, d'une espèce
» de petite scie, (*Figure* 7, *Planche XV*), recourbée vers le manche, laquelle a des dents
» taillées de façon à faire avancer le mortier et à l'étendre en même temps, sans cependant
» pouvoir l'emporter en la retirant.

» Il ne s'agit plus, après cela, que d'arracher cette filasse d'entre les joints, lorsque
» l'on juge que le mortier a acquis de la consistance, et qu'il n'y a plus à craindre qu'il
» puisse baver. »

Du temps de C. Perrault, le démaigrissement des pierres fut aussi mis en pratique dans les constructions du Louvre, contre le sentiment de cet habile architecte, ainsi qu'il nous l'apprend lui-même dans la Note I, page 42 de sa traduction de Vitruve. Il faut toutefois observer que ce procédé vicieux était accompagné de précautions qui pouvaient, jusqu'à un certain point, en atténuer les mauvais effets.

jaugées en parement, c'est-à-dire, lorsqu'elles ne sont pas plus hautes d'un bout que de l'autre; et plus ou moins épaisses si la pierre n'est pas d'égale hauteur. Il résulte de cette manière extraordinaire de poser les pierres, en usage à Paris, et adoptée en plusieurs autres endroits, que le mortier venant à diminuer d'épaisseur par l'évaporation de l'humide surabondant qu'il contient, tout l'effort se porte sur les cales et calots de bois, qui, n'étant pas susceptibles d'un aussi grand affaissement que le mortier, reportent cet effort sur les parties des pierres entre lesquelles il sont posés, et les font éclater. Cet effet inévitable vient de ce que tout le fardeau, qui devrait être réparti également dans toute la superficie des lits, se trouve soutenu sur des points qui n'en font pas la dixième partie.

Lorsque la charge est considérable, non-seulement les pierres éclatent, mais elles se rompent et se brisent; alors les joints du milieu, qui ont plus d'épaisseur que ceux des paremens, venant à éprouver un plus fort tassement, toute la charge se porte sur les bords; ceux-ci se brisent, se détachent de la masse, et forment des bouclemens considérables, des désunions, des déchiremens et des lézardes profondes qui pénètrent jusqu'au cœur de la construction; c'est ce qui est malheureusement arrivé aux piliers qui soutiennent le dôme de l'église de Sainte-Geneviève, dont les pierres ont été posées et taillées comme nous venons de l'expliquer[1]. Les Figures 5 et 6 de la Planche XV font voir tous les vices et les accidens qui résultent de cette manière d'opérer.

Cette méthode absurde, qui réunit tous les défauts possibles, n'a pu être imaginée que par les mauvais ouvriers ou les entrepreneurs avides, qui ne cherchent qu'à augmenter leurs bénéfices aux dépens de la solidité de l'ouvrage. C'est un raffinement qui ne tend qu'à faire les plus mauvaises constructions possibles, en facilitant les moyens d'employer les pierres mal équarries, dont les lits et joints sont gauches et à peine ébauchés. Des cales plus ou moins épaisses, suffisent alors pour pallier tous ces défauts, et offrir à l'extérieur l'apparence d'une construction

[1] Je dois déclarer ici que je n'ai contribué en rien à ces constructions vicieuses, qui ont été faites long-temps avant que j'aie été chargé de diriger les travaux de cet édifice. Dans toutes les parties dont la surveillance et la direction ont été spécialement confiés à mes soins, pour éviter ces défauts et les accidens qui en résultent, j'ai fait poser les pierres sur le mortier, et battre à la demoiselle, pour les faire porter également partout, sans démaigrissement ni renfoncement de lits, comme on le voit à la Figure 4, Planche XV. (*Voyez ci-après la note sur la restauration des piliers du dôme.*)

solide et bien faite, tandis qu'elle ne vaut pas une bonne construction en moellons.

Cependant comme la pierre dure de Paris a une consistance et une fermeté bien au-dessus de ce qu'exigent les constructions ordinaires, ces défauts ne deviennent dangereux que pour les points d'appui qui ont une charge extraordinaire à soutenir [1].

Les effets que l'on remarque dans les jambes étrières des maisons de Paris proviennent des mêmes causes. Leur superficie portante moyenne est d'environ 5 pieds ou un demi-mètre. La charge qu'elle soutient dans une maison de quatre étages peut être évaluée à 150 milliers; en sorte que chaque pied superficiel répondrait à un poids de 30 milliers, si le poids était également distribué sur la superficie portante. Il résulte des expériences rapportées dans les tables du premier Livre, deuxième Section, qu'un cube de 4 pouces de superficie de base s'écrase sous un poids de 7 milliers. En n'en prenant que la moitié, on trouvera 126 milliers pour le poids qu'un pied superficiel peut soutenir sans s'écraser, et 630 milliers pour celui que pourrait soutenir la superficie totale de la jambe étrière; c'est-à-dire, une charge quatre fois et un cinquième plus grande. Mais la manière de poser avec des cales et des démaigrissemens diminue beaucoup cette force. Quoique ce moyen soit moins vicieux dans ce cas, à cause de l'étendue des paremens, qui font presque le tour, Figure 3, Planche XV, et qui obligent à tailler les surfaces des lits avec plus de soin, on ne doit pas être surpris d'en voir qui s'écrasent et se déversent dans toute leur hauteur, par l'inégalité de tassement qui résulte nécessairement de cette manière de poser,

[1] On ne remarque pas d'éclat dangereux dans aucunes des parties du mur extérieur de l'église de Sainte-Geneviève, qui ont cependant été construites de la même manière que les piliers, jusqu'à la hauteur de l'astragale des colonnes du portail, parce que la superficie des cales, indépendamment du remplissage des joints des paremens, est plus que suffisante pour porter le fardeau qui y répond. Mais à l'endroit des tours, qui avaient une hauteur double, et dans les parties qui avoisinent le dôme, sur lesquelles on a reporté une partie de son poids, il s'est fait des éclats et des écrasemens proportionnés à la charge soutenue par les cales. Ces effets ne peuvent plus avoir de suite, à cause des remplissages qui ont été faits en bonne construction de pierres de taille posées sans cales.

Il n'y a eu que les joints montans de coulés : lorsqu'il a été absolument nécessaire de se servir de cales pour régulariser l'épaisseur des joints en parement, on a fait usage de cales de plomb, qui ont la propriété, en cédant sous le fardeau, de transmettre l'effort qui les comprime sur les surfaces environnantes. C'est de cette manière qu'a été construite la tour du dôme depuis le dessus des pendentifs, qui s'est maintenue intacte, malgré les inégalités de tassement des piliers.

ainsi que des constructions en moellons auxquelles elles se raccordent, lorsqu'on n'a pas la précaution de prolonger la queue des pierres en bonne liaison d'environ 1 pied $\frac{1}{2}$ au delà de l'épaisseur du mur de face.

On a représenté dans la Planche XIII la manière de recreuser les lits et joints des pierres, sous le prétexte mal entendu d'y faire entrer une plus grande quantité de mortier.

La Fig. 6 indique cette opération pour les pierres à deux paremens, qui forment l'épaisseur d'un mur.

La Fig. 7 présente une pierre à quatre paremens, destinée à former un pied-droit ou point d'appui à base carrée ou rectangulaire, dont les assises sont formées d'une seule pierre.

La Fig. 8 indique le même procédé appliqué aux tambours de colonnes.

Il faut observer que les pierres carrées, à deux ou trois paremens, peuvent se ficher par les joints de côté; mais pour celles à quatre paremens et pour les tambours de colonnes, on est obligé de faire un trou dans le milieu du lit pour introduire dans le joint de lit inférieur du mortier très-clair ou du coulis.

Manière de poser les pierres de taille pour former des constructions solides.

Lorsqu'il s'agira de murs ou pieds-droits formés par des pierres de taille disposées par rangs d'assises horizontales, il faudra, avant de procéder à la pose, vérifier si les joints et surtout les lits sont bien dressés et dégauchis. On connaîtra si une pierre est gauche, en appliquant dessus une règle bien droite d'un angle à l'autre de la surface d'un de ses joints ou lits, c'est-à-dire, de 2 en 4, Figure 1re., Planche XV, et de 1 en 3. Si la règle porte dans toute son étendue, sans laisser de jour, c'est une preuve qu'elle est droite et bien dégauchie. Si, au contraire, en posant la règle de 1 en 3, on trouve que la surface creuse, c'est-à-dire, que la règle laisse un jour dans le milieu en *c*, tandis qu'en la posant de l'autre sens, de 2 en 4, elle paraît ronde, en sorte que le point *c* soit trop élevé par rapport aux points 2 et 4, c'est une preuve que la surface est gauche, et qu'elle ne pourra porter que sur trois de ses angles, si la surface est un rectangle ou un carré. Cet effet arrive, quoique les lignes 1 2, 2 3, 3 4 et 4 1 soient droites, et que la règle touche partout quand on la pose de 5 en 6 et de 7 en 8 dans le milieu, et parallèlement aux côtés; cela vient de ce que les lignes op-

posées 2 3, 1 4, ne sont pas dans le même plan géométrique que les lignes 1 2, 3 4; de manière que si on regarde cette surface en mettant l'œil au niveau de l'une de ces lignes, telle que 2 3, l'autre opposée 14, paraîtra croiser la première, et avoir une de ses extrémités plus haute et l'autre plus basse.

Le tailleur de pierre, pour éviter ce défaut, commence par dresser un des bords de la pierre dont il veut faire le lit, tel que *m*, *n*, Figure 2, sur lequel il pose une règle, et avec une seconde, placée sur le bord de la face opposée en *c*, *d*, il trace une ligne, après avoir ajusté cette seconde règle de manière que son arête supérieure paraisse se raccorder dans toute sa longueur avec celle de la règle opposée, sans se croiser, en les *bornayant* du point *g*, c'est-à-dire, en les regardant de ce point avec un seul œil, et fermant l'autre, à une certaine distance de la règle *c d*. Après avoir dressé ce second côté, il trace deux autres lignes *c m*, *d n*, et il finit le lit ou le parement en abattant la pierre à la règle d'un côté à l'autre.

Lorsque les lits des pierres sont bien faits, étant placées les unes sur les autres, elles portent également dans toute leur étendue, sauf les petites inégalités du piquage des lits à la pointe du marteau, quand elles n'ont pas été effacées avec un outil à taillant droit.

Il y a tout lieu de croire que les anciens constructeurs pour corriger ces petites inégalités et les autres défauts d'exécution, finissaient de dresser les lits des pierres en les frottant l'une sur l'autre avec de l'eau et du sablon, ou quelqu'autre poussière analogue à la nature du grès.

Pour faire des constructions solides et durables, il faut non-seulement que les lits et joints soient bien dressés et dégauchis, il est encore nécessaire qu'ils soient d'équerre, c'est-à-dire, qu'ils forment des angles droits avec les paremens, afin qu'ils puissent se trouver d'aplomb lorsque les pierres sont posées de niveau sur leurs lits. Mais comme il est presque impossible, en posant les pierres immédiatement les unes sur les autres, sans cales, que les paremens se trouvent toujours assez bien faits pour former une surface comme elle doit être, il est indispensable de ne faire qu'échancrer les paremens, en laissant assez de pierre pour finir de les tailler sur place.

Les pierres de taille étant préparées comme il vient d'être expliqué, voici comment il faudra procéder à la pose : on commencera par dérasser bien de niveau le lit, ou la surface sur laquelle les pierres doivent

être posées; on les présentera d'abord en place en les posant à cru sur leur lit, afin de vérifier avec le plomb, l'équerre et le niveau, si, dans cette position, le parement, les joints et les lits sont disposés comme ils doivent l'être, et si le fort qu'on a laissé pour retailler le parement sur place est suffisant. Dans le cas où il se trouverait trop faible, il faudra avancer la pierre, et tracer dessus une ligne qui indique cet avancement.

On relèvera cette pierre, et après avoir bien nettoyé et arrosé le tas et le dessous de la pierre, on étendra une couche de mortier clair fait avec du sable très-fin; on posera ensuite la pierre dessus dans la situation où elle a été essayée, et on la battra avec une dame ou billot de bois de moyenne grosseur, afin de l'asseoir sur son lit, et faire refluer le mortier superflu. Il ne faut pas qu'il se trouve dans le sable aucune petite pierre ou gravier qui puisse empêcher les pierres de se joindre, parce que le moindre petit caillou qui résisterait serait dans le cas de faire éclater les pierres, et de produire les mêmes effets que les cales dont nous avons fait voir les inconvéniens; c'est pourquoi il faut préférer les sables doux et argileux aux sables de rivière : on peut encore faire usage de poudre de pierre tendre tamisée.

S'il s'agit d'ouvrages dans l'eau ou destinés à en contenir, on fera usage de pouzzolane, de tuileaux pilés ou de quelqu'une des matières de ce genre, dont il a été question à l'article III, Chapitre III, 1re. Section du Livre précédent, pages 133 à 139.

C'est particulièrement pour ces espèces d'ouvrages que cette manière de poser doit être mise en usage, parce qu'elle ne laisse aucun vide dans les lits et joints par où l'eau puisse pénétrer.

Pour faciliter la pose des pierres sur mortier, on peut, après l'avoir étendu sur la pierre, mettre des cales de bois aux quatre angles pour la renverser dessus. On ôte ces cales dès que la pierre est en place, pour la lâcher sur le mortier et la battre, afin de la faire porter également partout, comme il a été ci-devant expliqué.

Lorsque les ouvriers seront familiarisés avec cette méthode, ils verront qu'elle est plus expéditive et moins compliquée que celle de ficher et de poser sur cales, qui devrait être proscrite dans toutes les constructions publiques.

La manière de construire en pierres de taille, que nous venons de détailler, réunit les avantages de celle des anciens et des modernes;

elle n'est sujette à aucun tassement, parce qu'en battant les pierres il ne reste de mortier que pour remplir les inégalités des lits, et que dans le surplus elles posent immédiatement les unes sur les autres. Cependant le peu de mortier qui reste suffit pour les unir ensemble avec une force qui est plus du double de leur poids, ainsi que je l'ai éprouvé en posant de cette manière deux pierres d'un mètre et demi de long (4 pieds 8 pouces), sur 1 mètre de large (3 pieds 1°.), et un demi-mètre ou 18 pouces $\frac{1}{2}$ de haut. Cette adhérence du mortier augmente beaucoup la stabilité des pierres, indépendamment de leur forme et de leur poids; en sorte qu'une construction en pierres d'une médiocre grandeur devient aussi solide que celles où les anciens employaient des pierres d'une grandeur considérable posées sans mortier.

Il y a eu de bons constructeurs qui, au lieu de recreuser les lits des pierres, ont formé, au contraire, le long des paremens des espèces de biseaux de 3 à 4 pouces de large, sur environ une ligne de pente à l'extérieur, comme on le voit représenté par les Figures 9 et 10 de la Planche XIII; mais ce moyen devient inutile, si l'on ne fait pas usage de cales, et si les lits sont bien dressés et dégauchis.

Les Figures 11, 12, 13 et 14 représentent des pierres des anciens temples de Sicile, dont les joints sont dressés et piqués. Les entailles en fer-à-cheval qu'on y voit ont été faites pour passer les cordages qui servaient à les enlever et les mettre en place.

Le trou carré qui se trouve au centre du tronçon de colonne représenté par la Figure 13 paraît avoir été pratiqué pour y loger un cube de bois et un axe de fer qui servait à les rouler; ou un dé de pierre pour réunir les tambours de colonne.

Pour faire connaître combien les anciens constructeurs prenaient de précautions pour réunir la solidité à la pureté d'exécution, on a représenté, dans la Planche XVI, le soubassement d'un temple de l'ancienne ville de Ségeste en Sicile, qui paraît n'avoir pas été achevé. La Figure 3, exactement levée et mesurée sur les lieux, présente trois rangs de gradins de hauteurs différentes, formant ensemble l'élévation du sol du temple, et d'un quatrième servant de socle pour soutenir les colonnes. Chaque gradin est composé de pierres de même grandeur, régulièrement appareillées; en sorte qu'il s'en trouve deux sous chaque colonne, et deux dans les intervalles. Chacune de ces pierres a dans le milieu de ses paremens des bossages qui paraissent avoir servi à les

élever et à les poser immédiatement en place, sans que le cordage y mît obstacle. Ces bossages ont 10 pouces de large (27 centimètres), sur 9 pouces de haut (24 centimètres), et 2½ à 3 pouces ½ d'épaisseur ou de saillie (1 décimètre).

Sur le bord inférieur de la face de ces pierres, on a pratiqué un renfoncement de 8 à 9 lignes (2 centimètres), 1 pouce ½ de haut (4 centimètres), pour indiquer le véritable nu du parement; et, afin de préserver les angles de toutes écornures, on a évité de prolonger le renfoncement jusqu'à l'arête verticale, en réservant environ 2 pouces (5 centimètres ½) de masse à l'angle.

Dans l'angle rentrant de ces gradins, le long du parement du gradin supérieur, on a pratiqué une espèce de canal ou renfoncement horizontal de 9 lignes de profondeur (2 centimètres), sur 3 pouces de large (8 centimètres), dont le fond sert à fixer le dessus du gradin inférieur, et le bord enfoncé, le devant du gradin supérieur.

Cette disposition fait voir qu'avant de poser les gradins supérieurs, ils dressaient le dessus de celui qui était en place, et traçaient l'érigement de celui qui devait suivre; et, pour le fixer d'une manière invariable, ils dégageaient dans la masse la naissance du gradin supérieur. Il résulte de ce procédé deux autres avantages : le premier, que le joint du bas se trouve élevé de manière que l'eau ne peut pas s'y insinuer, et forme une espèce de rejet d'eau; et l'autre, que l'arête rentrante était indiquée d'une manière plus nette et plus franche; l'évidement de l'angle étant beaucoup plus facile à opérer de cette manière que lors du ravalement.

On remarque sur le dessus des pierres, qui forment socle au droit des colonnes, de semblables renfoncemens faits pour l'érigement des colonnes, et pour fixer le nu de leur circonférence par le bas, ainsi que le dessus et le devant des parties apparentes du socle. Ces renfoncemens forment aux quatre angles des espèces de triangles à base circulaire.

Il paraît par quelques débris du temple de Junon Lucine, à Girgenti, qu'on y avait employé les mêmes procédés.

Les mêmes précautions d'appareil ont été observés à un temple de marbre non achevé, situé près de l'ancienne citadelle de Thoricion, au pied de la montagne de Laurium; ce qui donne lieu de penser qu'ils ont pu être également employés aux autres temples de l'Attique.

NOTE

SUR LES CAUSES DES DÉGRADATIONS SURVENUES AUX PILIERS DU DÔME DE L'ÉGLISE DE SAINTE-GENEVIÈVE, ET SUR LES MOYENS EMPLOYÉS A LEUR RESTAURATION.

L'intérieur de l'église de Sainte-Geneviève ne fut entièrement débarrassé des échafauds qui avaient servi à sa construction qu'en 1794. L'année suivante M. Soufflot neveu et moi demeurâmes chargés de ce monument sous la direction de la commission des travaux publics; bientôt après, appelé moi-même aux fonctions de commissaire[1], M. Soufflot neveu resta seul à la tête de tous les ouvrages. Il fit supprimer aux grands pendentifs du dôme des masses de pierres dures qui avaient été laissées pour les cadres et les bas-reliefs. On employa pour cette opération un très-grand nombre de tailleurs de pierres, qui, à cette époque, étaient très-difficiles à gouverner. Ils agissaient à grands coups de masse et sans ménagement, ce qui causa un ébranlement général qui mit toute la masse supérieure en mouvement et doubla l'effet du fardeau, déjà trop considérable, pour des piliers aussi mal construits à l'intérieur. Le milieu se déroba, pour ainsi dire, sous la charge en s'affaissant, et tout son effort se porta sur les paremens extérieurs, et sur les colonnes engagées aux angles, dont les joints étaient très-serrés. De là, les éclats et les ruptures qui se manifestèrent sur presque toutes les faces. Ces effets furent dénoncés à M. Benesech, alors ministre de l'intérieur.

En février 1796, il chargea le conseil des bâtimens civils, dont je faisais partie, de se transporter sur les lieux pour examiner l'état de ces piliers et lui en faire un prompt rapport. Le ministre y vint lui-même et fut effrayé de l'état de dégradation où ils se trouvaient. On convint d'établir, sans retard, des cintres d'étayement dans les quatre arcades, et pour accélérer cette opération, le ministre nous autorisa à y employer les bois de charpente des échafauds de l'église de la Madeleine. On était prêt à commencer, lorsque l'entrepreneur de maçonnerie de cet édifice, qui avait intérêt à ne pas convenir de la mauvaise construction de l'intérieur des piliers, demanda qu'avant de poser les cintres, on fît visiter de nouveau ces piliers par les inspecteurs-généraux des ponts et chaussées.

Ces messieurs s'étant réunis aux membres du conseil des bâtimens civils pour faire ensemble cette visite, il en résulta de la part de MM. les inspecteurs-généraux un rapport étendu, dans lequel ils déclarèrent qu'ils étaient du même avis que les membres du conseil des bâtimens civils, sur les principales causes des dégradations des piliers; mais qu'ils ne pouvaient pas croire qu'on eût négligé partout leur construction intérieure comme semblait l'indiquer la pierre alors arrachée dans une des faces de ces piliers. D'après cette idée, ces messieurs ne trouvèrent

[1] Depuis 1770 j'avais été attaché à ce monument, en qualité d'inspecteur, et spécialement chargé, par Germain Soufflot, de l'étude des constructions.

pas que l'état de ces piliers fût assez dangereux pour établir les cintres que j'avais proposés

C'est à cette époque que je publiai mon mémoire historique sur le dôme de l'église Sainte-Geneviève (alors Panthéon français), afin de donner une idée juste de l'état de cet édifice, qui paraissait ne pas être connu de la plupart de ceux qui proposaient des moyens de restauration.

Après bien des discussions et des débats entre MM. les inspecteurs-généraux et les architectes, on convint de faire de nouveaux arrachemens dans un des piliers pour s'assurer du véritable état de leur construction intérieure. On choisit le premier pilier à droite en entrant, qui était le moins dégradé, et après avoir arraché des pierres à des hauteurs différentes, on reconnut les mêmes vices de construction que dans le second pilier à gauche, dans lequel on avait fait le premier arrachement ; c'est-à-dire, que les pierres des paremens étaient démaigries en coin à la grosse pointe, et que les joints de lits qui n'avaient au plus que 2 lignes d'épaisseur sur les faces apparentes, avaient de 24 à 30 lignes dans l'intérieur, avec des flaches et des remplissages en moellons bruts, mal fichés et dégarnis de mortier. Cet état, que je ne connaissais pas et qui me surprit autant que ces messieurs, fut constaté par des dessins cotés (représentés par la Planche XVII), joints au procès-verbal dressé sur les lieux, signé des ingénieurs et des architectes. Ces vices de construction étaient la suite inévitable de la tâche banale qui avait eu lieu long-temps avant que j'aie été employé aux travaux de cet édifice. G. Soufflot avait été trompé, ainsi que moi, par l'apparence soignée que présentaient les faces extérieures.

Malgré cet état bien constaté, qui détruisait toutes les objections de MM. les inspecteurs-généraux, ils persistèrent dans leur opinion. On nomma deux mathématiciens pour peser et analyser les raisons alléguées de part et d'autre, mais ils ne voulurent pas prononcer, et il fut décidé que MM. les inspecteurs-généraux, les architectes et les mathématiciens feraient chacun leur rapport séparé au ministre de l'intérieur, qui était alors M. François de Neufchâteau. Ce ministre nomma une autre commission qui, ayant de nouveau examiné l'état des piliers, fut effrayée du progrès des dégradations. Cette commission sollicita par une lettre et un rapport adressés au ministre le 11 thermidor an VI, août 1798, l'établissement des cintres que j'avais proposé, et de plus l'érigement de quatre murs angulaires qui réunissaient les piliers du dôme aux angles rentrans des murs extérieurs ; elle demanda en outre que M. Gauthey, inspecteur-général des ponts et chaussées, et moi, lui fussions adjoints, ainsi que M. Patte, qui le premier avait écrit sur l'insuffisance des piliers. Il résulta de cette réunion de nouveaux débats et de nouvelles incertitudes, qui firent suspendre l'exécution des travaux jusqu'à la fin de l'an VII (1799). Enfin, un rapport fait par une commission composée des membres de l'Institut proposa de continuer la charpente des cintres.

L'objet de ces cintres était non-seulement d'empêcher le progrès des dégradations, mais de supporter une partie de la charge des piliers pendant le temps de leur restauration.

Un cintre ordinaire composé de pièces de bois isolées dans leur longueur eût été insuffisant pour un aussi grand fardeau, évalué à près de vingt millions de livres. Ce n'est qu'après avoir long-temps médité sur ce sujet, que je me décidai à former les cintres et leurs pieds-droits avec des pièces de bois jointives fortement reliées par des moises et des boulons, ainsi qu'on peut le voir par les détails qui se trouvent au Livre cinquième de cet ouvrage, troisième Section, Chapitre deuxième.

Un décret du 20 février 1806 ayant rendu cet édifice au culte, il fut fait des fonds pour la restauration des piliers du dôme, et pour terminer cette église *conformément à l'intention de son fondateur, sous l'invocation de Sainte-Geneviève, patronne de Paris.*

Je fus chargé par le ministre de l'intérieur de cette opération difficile, à laquelle je m'étais préparé depuis long-temps, tant par l'inspection journalière de l'état des piliers du dôme, et des effets qui en résultaient sur toutes les parties qui s'y réunissaient; que par l'examen réfléchi des mémoires écrits et publiés à ce sujet, et des discussions qui avaient eu lieu entre les membres des différentes commissions nommées par le ministre de l'intérieur, auxquelles j'ai toujours été adjoint. Je pensai que pour parvenir à procurer à cette partie de l'édifice toute la solidité qu'exige un monument de ce genre, il fallait bien connaître les véritables causes des dégradations afin de les détruire.

Toutes les commissions chargées d'examiner l'état des piliers du dôme étaient convenues que les dégradations des piliers avaient trois causes principales : 1°. le démaigrissement et le peu de soin apporté à la taille des lits des pierres et tous les vices qui y tiennent; 2°. les porte-à-faux occasionés par le reculement du mur de la tour du dôme, pour décorer l'intérieur par des colonnes au lieu de pilastres; 3°. le trop grand nombre d'ouvriers employés aux ragrémens du dôme, qui, en ébranlant la masse supérieure, avaient augmenté considérablement l'effet du poids dont ils étaient chargés.

Pour réussir dans la restauration de ces piliers, il fallait, en évitant dans les nouvelles constructions tous les défauts et les inconvéniens des anciennes, tâcher encore de les consolider, et faire choix pour les nouvelles de pierre de la meilleure qualité et la plus propre à résister sous le fardeau. Après plusieurs expériences faites sur les différentes espèces de pierres dures des environs de Paris, je préférai celle désignée sous le nom de roche dure de Châtillon (décrite au n°. 31 du texte, Livre premier, page 64; éprouvée sous le n°. 57 de la Table, page 212). Pour éviter les effets désastreux du démaigrissement des lits, j'eus soin de les faire dresser comme des paremens, ainsi que les joints; et pour prévenir toute espèce de tassement, je faisais poser les pierres les unes sur les

autres sans cales. Au lieu de mortier ordinaire, on a fait usage de ciment de tuileaux pilés, passé avec un tamis fait exprès, garni en toile métallique très-fine. Chaque pierre était battue sur son lit, en sorte qu'il ne restait dans les joints qu'une couche mince, également comprimée, afin d'éviter la réaction sous la charge de deux corps durs posés l'un sur l'autre.

Après que chaque assise était posée, avec toutes les précautions que nous venons de détailler, on dérasait le lit supérieur pour le bien redresser et supprimer les légères différences qui pouvaient se trouver dans la hauteur des pierres. Les pierres étaient réunies entre elles par des crampons de fer imprimés de couleur à l'huile et scellés en ciment gras et tuileaux, pour les faire serrer et les fixer solidement. Celles qui joignent les anciennes constructions, ont été reliées avec elles par des crampons à louve en deux pièces, formant Y, et par des armatures placées de trois assises en trois assises.

Lorsqu'on fut parvenu à l'assise sous l'architrave, qui devait racheter les porte-à-faux sur les faces extérieures des piliers, entre les colonnes; on eut la précaution, au lieu de la tailler d'égale épaisseur, en faisant ses lits parallèles, de donner au-dessous de l'architrave et au-dessus des pierres qui devaient s'y joindre, une légère inclinaison, à raison d'une ligne par pied de leur largeur; ensuite, avec des scies à grès faites exprès, on sciotait le joint de lit qui devait se raccorder à celui de la masse supérieure. On avait soin d'enfoncer les pierres de cette assise à mesure du sciotage, et quand elles ont été à environ 6 pouces du fond, on les a forcés d'entrer par le moyen de plusieurs crics disposés pour cet effet; et au moyen de plusieurs trous de trépans et de godets, les joints étaient préalablement remplis de ciment clair, dont l'excédant refluait lorsque les pierres étaient en place.

L'opération la plus difficile et qui exigeait le plus de précautions, était la suppression des parties brisées, qui devait se faire sans frapper, afin de ne pas ébranler la masse supérieure. On en vint à bout en faisant des traits de scie à grès inclinés et d'aplomb, qui facilitaient l'extraction des pierres défectueuses sans se servir du marteau; après quoi la masse était étayée dans tous les sens, de manière à ne point gêner les travaux de restauration.

Au moyen de trépans on est parvenu à faire des trous de 2 pouces de diamètre, tant pour remplir en ciment et plâtre les vides et les joints intérieurs des pierres qui avaient été mal fichés, que pour le passage des grandes armatures qui traversent la masse des piliers, pour relier les nouvelles constructions avec les anciennes. L'action des trépans et des scies à grès était dirigée par un mécanisme qui variait en raison des positions et des circonstances, afin d'opérer avec plus de précaution et d'exactitude

Afin d'obtenir la plus grande perfection possible dans tous ces travaux, j'avais organisé des ateliers composés des ouvriers les plus adroits et les plus intelligens

dans chaque partie, conduits par un inspecteur et des chefs habiles à qui j'expliquais le motif de chaque opération et la nécessité de toutes les précautions à prendre pour bien remplir leur objet. Je me suis moi-même livré tout entier à la direction de ces travaux. Indépendamment de tous les détails figurés et cotés pour l'exécution, je surveillais avec assiduité toutes les opérations, et j'ai eu la satisfaction de voir, que souvent on renchérissait sur les précautions que j'avais indiquées; aussi depuis le décintrement, et malgré l'épreuve des ragrémens qui, en imprimant un mouvement à la masse, tendaient à faire découvrir les moindres imperfections et les endroits faibles, aucun accident ne s'est-il manifesté dans les ouvrages de restauration, qui comptent aujourd'hui plus de dix-sept années d'existence [1].

[1] On trouvera les détails les plus circonstanciés sur cette opération, dans l'ouvrage ayant pour titre : Description historique et graphique de la nouvelle église de Sainte-Geneviève, dont les dessins et la rédaction nous occupent depuis plusieurs années, et que nous comptons pouvoir bientôt mettre sous presse.

LIVRE TROISIÈME.

STÉRÉOTOMIE.

PREMIÈRE SECTION.

TRACÉ DES COURBES QUI PEUVENT SERVIR A FORMER LA SURFACE INTÉRIEURE DES VOUTES.

CHAPITRE PREMIER.

DES COURBES FERMÉES.

La première chose à considérer dans les voûtes est la courbure de leur cintre : la plus belle, la plus convenable pour la forme et en même temps la plus facile à tracer, est le cercle ; c'est pourquoi nous n'entrerons dans aucun détail à ce sujet.

De l'ellipse.

Si l'on expose au soleil un cercle de fil de fer inscrit dans un carré, traversé par deux diamètres qui se croisent au centre à angles droits, Fig. 2, Planche XIX, et disposé de manière que les rayons de lumière soient perpendiculaires au plan que forme cet assemblage, l'ombre reçue sur un plan parallèle (à une distance plus grande que le demi-diamètre), représentera une figure parfaitement semblable, et égale à celle du cercle inscrit dans un carré avec ses diamètres égaux : mais, si l'on fait tourner le cercle sur l'un de ses diamètres AB, sans changer la situation du plan qui reçoit l'ombre, on verra, 1°. que le carré se changera en un rectangle, et le cercle en une ellipse ;

2°. Que l'ombre du diamètre autour duquel le cercle tourne, qui ne change pas de grandeur, représente le grand axe de l'ellipse ; et que l'autre, qui diminue à mesure que cette machine tourne, est le petit axe ;

3°. Qu'il se trouve une position où ce petit axe s'évanouit, de manière que l'ombre de l'assemblage entier ne forme qu'une ligne droite ; d'où il

résulte que cet assemblage, en tournant, peut représenter toutes les ellipses possibles comprises entre le cercle et la ligne droite.

Si, dans l'intérieur du cercle de fil de fer, on inscrit un polygone régulier de dix ou douze côtés, il est évident que l'ombre des côtés de ce polygone formera, dans le cercle devenu ellipse, un polygone correspondant, dont les angles, à cause du parallélisme des rayons de lumière, seront toujours à une égale distance du diamètre perpendiculaire à l'axe de rotation ; de sorte que si l'on trace sur le plan qui reçoit l'ombre (dans l'instant où la lumière est perpendiculaire), les parallèles *ef*, *ko*, CD, *gh*, *im*, qui passent par les angles d'un polygone de douze côtés, on remarquera que, quand la machine tourne, les angles suivent exactement les traces de ces lignes.

Pour reproduire ces indications par des opérations graphiques, on décrira un cercle sur le petit axe *cd*, et après l'avoir divisé comme le grand cercle, on mènera par les points de division marqués des mêmes lettres, des parallèles au grand axe AB, et l'intersection des lignes tirées des points correspondans, donnera la position de ces angles exactement comme la projection des ombres. Ainsi cette expérience fournit une manière de tracer l'ellipse par plusieurs points, en décrivant un cercle sur chacun des axes : on divisera leur circonférence en un même nombre de parties égales, et tirant de chacune des parallèles à ces axes, leurs intersections donneront autant de points qui appartiendront à la circonférence de l'ellipse.

Cette méthode procure encore une manière, aussi exacte que facile, d'imiter l'ellipse avec des arcs de cercle, en élevant, sur le milieu de chaque côté du polygone inscrit, des perpendiculaires qui se rencontreront sur le petit axe prolongé, pour les parties aplaties, et sur le grand axe pour les parties les plus cintrées.

Si l'on fait attention que l'ellipse est une courbe symétrique divisée en quatre parties semblables par les axes, on verra qu'il suffit de faire l'opération pour l'une d'elles, avec deux quarts de cercle décrits sur les deux demi-axes, Fig. 3 : ainsi, ayant divisé chacun de ces quarts de cercle en trois parties égales, des points de division *ef*, de celui tracé sur le demi-grand axe, on mènera des parallèles à l'autre axe OC ; des points de division *u* et *v* du petit quart de cercle on mènera des parallèles au grand axe ; les points *b* et *g*, où les parallèles correspondantes se rencontreront, indiqueront les angles d'un dodécagone, dont A*b*, *bg*, *gc*,

seront les côtés pour un quart. Sur le milieu de chacun de ces côtés, on élèvera des perpendiculaires indéfinies : celle élevée sur *gc* rencontrera le petit axe prolongé, au point 4, qui sera le centre de l'arc *gc*; ayant tiré *g*4, le point 5, où la perpendiculaire sur le milieu *bg* rencontrera cette ligne, sera le centre de l'arc *bg*. On tirera ensuite la ligne *b*5 qui coupera le grand axe au point 1, qui sera le centre de l'arc A*b*; et avec les trois points de centre, 4, 5, 1, on décrira une courbe qui différera très-peu de l'ellipse.

Comme les trois autres quarts doivent être semblables, pour avoir leurs centres, il faudra porter O4 de O en 3, *m*O de O en *n*, et tirer deux lignes indéfinies, 3*mr* et 3*ns*; sur ces lignes on portera *m*5 de *m* en 8, de *n* en 7, et de *n* en 6; et enfin A1 de B en 2. Cela fait, du centre 3 on décrira l'arc *rs*, et après avoir tiré les droites 81*q*, 62*k* et 72*t*, qui réunissent deux centres sur une même ligne (afin que, d'après le principe général de l'imitation des courbes, la tangente au point de réunion soit commune aux deux arcs de cercle, et que leur différence de courbure ne produise aucun jarret ou effet désagréable), des centres 1 et 8 on décrira les arcs A*q*, *qr*; des centres 6 et 7, les arcs *hk* et *st*, et enfin du centre 2, l'arc *k*B*t*.

Il est évident qu'à mesure qu'on augmentera le nombre des divisions de chaque quart de cercle, on aura une imitation plus approchée.

Il est bon de remarquer que quoiqu'il s'agisse, dans l'exemple que nous avons donné, d'un polygone à douze côtés, il n'y a cependant que huit centres, parce que les quatre placés sur les axes répondent chacun à deux côtés, en sorte qu'il doit toujours se trouver quatre centres de moins que de côtés.

Ce moyen, très-simple, est infiniment plus parfait que tous ceux qu'on a donnés pour l'imitation de l'ellipse, et n'exige aucun calcul. Nous nous dispenserons d'en faire le parallèle.

De l'ellipse, considérée comme le résultat de la section oblique d'un cylindre.

Soit Figure 4, A, B, C, D, la projection d'un cylindre dont le cercle E, H, G, K, représente la base divisée en vingt parties égales; ayant disposé ces deux figures de manière que l'axe de projection du cylindre réponde exactement au diamètre EG du plan de la base, afin qu'en abaissant, des points de division, des parallèles à l'axe, elles divisent la moitié de la surface courbe du cylindre en dix parties correspondantes

aux divisions de chacune des demi-circonférences de la base, séparées par le diamètre HK : en sorte que si l'on imagine, dans le cylindre, un plan correspondant à ce diamètre, représenté par A, B, C, D, chacune des lignes *bb*, *cc*, *dd*, *ee*, *ff*, seront censées éloignées parallèlement du plan A, B, C, D, d'une distance perpendiculaire 1 *b*, 2 *c*, 3 *d*, 4 *e*, 5E ou 5G; la régularité du cylindre donne la même chose pour les autres lignes *h*6, *i*7, *k*8 et *m*9, ainsi que pour celles correspondantes à la circonférence opposée : cela posé, il suffit, comme nous l'avons déjà observé, de faire l'opération pour un quart:

Ainsi, supposant que la diagonale AD indique une section oblique à l'axe du cylindre, mais perpendiculaire au plan B, A, C, D, on tracera l'ellipse qui résulte de cette section, en élevant des points *b'*, *c'*, *d'*, *e'*, *f'*, *h'*, *i'*, *k'*, *m'*, où les parallèles *bb*, *cc*, etc., rencontrent l'oblique AD, des perpendiculaires indéfinies, sur lesquelles on portera la distance 1 *b* du plan, sur l'axe AD, de *b'* en 1; 2 *c* de *c'*, en 2, 3 *d* de *d'* en 3; 4 *e* de *l'* en 4; 5G de *f'* en 5 : traçant ensuite une courbe par tous ces points, elle formera une ellipse parfaitement semblable à celle produite par l'ombre d'un cercle, reçue obliquement sur le plan dont nous avons parlé prédédemment.

Comparaison du cercle avec l'ellipse.

Dans l'ellipse comme dans le cercle, les lignes qui se croisent au centre divisent leur surface en parties égales : mais, dans le cercle, tous les diamètres sont égaux et perpendiculaires à la courbe; tandis que, dans l'ellipse, leur grandeur change pour chaque point de la courbe. Le plus grand de ces diamètres est appelé *grand axe*, et le moindre, *petit axe*.

De tous les diamètres, il n'y a que les deux axes qui se croisent au centre à angles droits.

L'ellipse étant une courbe fermée et symétrique, les deux axes la divisent en quatre parties égales et semblables.

Le cercle n'a qu'un centre auquel aboutissent toutes les perpendiculaires à sa circonférence.

L'ellipse a, indépendamment de son centre, deux foyers : ces points, placés sur le grand axe, procurent les moyens de décrire cette courbe, et de lui mener des perpendiculaires. On trouve la place des foyers

d'une ellipse, Fig. 5, en décrivant, des deux extrémités du petit axe, des sections avec un rayon égal à OB, moitié du grand axe, qui coupe ce dernier aux points F*f*.

Une des principales propriétés des foyers consiste en ce que la somme des lignes tirées d'un point quelconque de la courbe P, à chacun des foyers, est toujours égale à la longueur du grand axe; de sorte qu'on a, dans tous les cas, FP plus *f*P égale AB.

C'est sur cette propriété de l'ellipse qu'est fondée la manière de tracer l'ovale du jardinier, avec un cordeau et deux piquets. On place ces piquets aux foyers, et on y attache les deux bouts d'un cordeau dont la longueur doit être égale au grand axe; ensuite, avec une pointe ou un autre piquet mis dans le pli du cordeau, on trace la courbe en observant de tenir le cordeau toujours également tendu. Par ce moyen simple, on obtient une ellipse véritable, comme on le voit par la Figure 5.

Mais cette pratique, suffisante pour des opérations de jardinage, n'offre pas assez de précision pour la construction des épures : c'est pourquoi la manière de tracer cette courbe par plusieurs points est préférable.

Il faut remarquer, à ce sujet, qu'à cause de la régularité et de la symétrie de cette courbe, il doit toujours se trouver quatre points également situés par rapport au centre : ainsi, après avoir tracé les deux axes, et déterminé les foyers F*f*, il faudra de chacun de ces points, et avec une même ouverture de compas, moindre que FB ou A*f*, et plus grande que AF ou son égal *f*B, décrire quatre sections indéfinies, telles que G*g*, H*h*. On portera ensuite le rayon avec lequel elles ont été décrites de A en D; on prendra la différence DB, avec laquelle, des mêmes foyers F*f*, on croisera les quatre premières sections : ces intersections indiqueront autant de points de l'ellipse. Pour avoir quatre autres points, on recommencera avec une ouverture plus petite ou plus grande que celle avec laquelle on a tracé les premières sections G*g*, H*h*, telle que FE, et après avoir tracé quatre nouvelles sections I*i*, K*k*, on recroisera les sections I*i*, K*k*, avec un rayon égal à EB, pour avoir quatre nouveaux points, et ainsi de suite.

Pour procéder avec ordre, il faut diviser l'espace compris entre les foyers en parties égales, en raison de la grandeur de l'ellipse; on décrira successivement les quatre premières sections des foyers avec les intervalles A1, A2, A3, A4, A5, etc; Figure 6, c'est-à-dire, jusqu'à

l'avant-dernière; les grandeurs pour les recroisemens seront successivement 1 B, 2 B, 3 B, etc.

Cette méthode est extrêmement commode et juste, parce que les opérations sont immédiates, et que le croisement des sections indique la direction de la courbe, ce qui est un très-grand avantage pour la bien tracer. Lorsque les premières divisions donnent des sections trop éloignées, on les subdivise en deux ou en trois : en général, il faudrait que les points fussent plus rapprochés en raison de ce que la courbe est plus fermée. Ainsi, pour proportionner ces divisions à l'augmentation de courbure que présente l'ellipse depuis les extrémités du petit axe jusqu'à celles du grand, il faudrait, au lieu de diviser la ligne droite F*f* en parties égales, diviser la demi-circonférence dont elle est le diamètre, Figure 7, et renvoyer, par des parallèles au petit axe, la projection de ces points sur F*f*; par ce procédé, ils se trouveraient naturellement espacés en raison du plus ou moins de courbure.

Par la même raison, lorsqu'on fait usage, pour tracer l'ellipse, des ordonnées aux cercles décrits sur leur petit ou grand axe, il vaut mieux diviser la circonférence de ces cercles en parties égales que leur diamètre; la vue seule de la Figure 4 fait assez comprendre la nécessité de préférer cette pratique. Cette remarque mérite d'autant plus d'être prise en considération qu'elle s'applique au principe du rallongement et du raccourcissement de toutes sortes de courbes, ainsi qu'à celui de leur projection et développement, qui sont les opérations les plus essentielles de la stéréotomie ou coupe des pierres.

Du compas elliptique ou compas ovale.

D'après les propriétés ci-devant reconnues aux foyers de l'ellipse, page 42, on a imaginé, pour tracer cette courbe, un instrument composé d'une espèce de croix, Figure 8, élégi de rainures dans lesquelles on place des pivots ou tasseaux mobiles façonnés en queue d'aronde, en sorte qu'ils peuvent se mouvoir sans en sortir; on y ajuste une règle qui entre dans les axes de ces pivots, ou qui s'y applique de manière à les tenir à une distance déterminée, sans les empêcher de glisser dans les rainures.

Il résulte de cette disposition, qu'en faisant jouer cette règle, le bout s'avance et se retire selon un rapport qui varie en raison de la

distance des pivots. Ainsi, faisant cette distance égale à la différence des deux axes d'une ellipse, une pointe ou un crayon placé au bout de cette règle décrira cette courbe; et comme on peut changer cette distance à volonté, on voit qu'on peut, avec cet instrument, tracer toutes sortes d'ellipses.

On observe cependant que lorsqu'il s'agit d'un cintre d'une certaine grandeur, ces compas ne sont jamais assez bien faits pour décrire exactement cette courbe; aussi ne s'en sert-on que pour des opérations qui n'exigent pas une précision rigoureuse.

Des perpendiculaires à l'ellipse.

Dans le cercle, toutes les perpendiculaires à la courbe, étant prolongées, passent par le centre.

Dans l'ellipse, excepté les quatre points formant les extrémités des axes qui se croisent au centre à angles droits, toutes les perpendiculaires tirées des autres points de la courbe rencontrent le grand axe à différens points de la partie comprise entre les foyers.

Pour élever une perpendiculaire d'un point quelconque de la circonférence d'une ellipse, il faut tirer de ce point P, Figure 9, 2 lignes aux foyers F*f*, et diviser l'angle qu'elles forment au point P, en deux parties égales, par la ligne P*d*, qu'on prolongera à l'extérieur en *e*; *e*P sera la perpendiculaire cherchée.

Il est évident qu'en prolongeant à l'extérieur les lignes tirées des foyers au point *p*, on a l'angle *cpg* égal à F*pf*; et qu'ainsi, en divisant l'angle *cpg* en deux, on aura aussi une perpendiculaire *pm* à la courbe.

Cette méthode est la même, quelle que soit la manière dont l'ellipse ait été tracée, c'est-à-dire, avec un cordeau, un compas elliptique, par ordonnées ou par sections; il n'y a d'exception que pour les imitations avec les arcs de cercle dont les perpendiculaires doivent tendre au centre de chaque arc.

Ce que nous venons de dire sur cette courbe suffit pour les opérations dont il sera question dans ce Livre. Il nous reste à faire connaître une nouvelle propriété des foyers que nous avons découverte et qui indique leur origine; cette propriété ne se trouve dans aucun des auteurs qui ont parlé de cette courbe.

Les foyers représentent les extrémités de l'axe du cylindre ou du cône compris dans a section oblique qui produit l'ellipse.

Nous avons dit que pour trouver les foyers de l'ellipse, la méthode ordinaire, qui se trouve dans tous les Traités des sections coniques, consiste à décrire avec une grandeur égale à la moitié du grand axe, de l'une des extrémités C du petit axe, Figure 5, deux sections qui coupent le grand axe aux points F et f, en sorte qu'on a $FC + Cf = AB$.

Il résulte de cette opération, que la distance OF du centre de l'ellipse à un des foyers, est moyenne proportionnelle entre la somme des deux demi-axes et leur différence; c'est-à-dire, qu'on a la proportion $CO + CF : OF :: OF : CF - CO$; car, par la propriété du triangle rectangle COF, on a $\overline{CF^2} = \overline{CO^2} + \overline{OF^2}$, d'où l'on tire $\overline{CF^2} - \overline{CO^2} = \overline{OF^2}$; mais $\overline{CF^2} - \overline{CO^2}$ est égal au produit de $\overline{CO + CF} \times \overline{CF - CO}$: donc on a $CO + CF : OF :: OF : CF - CO$. Cela posé :

Soit ABCD, Figure 10, le plan ou la projection d'un cylindre droit, par l'axe, et BC la ligne oblique qui indique la section qui produit l'ellipse et en même temps son grand axe. Ayant tiré l'axe EG du cylindre qui divise le grand axe BC de l'ellipse en deux parties égales au point O; de ce point, comme centre, on décrira les arcs Gf, EF, qui indiqueront, sur le grand axe BC, la place des foyers.

DÉMONSTRATION.

Comme dans cette figure, $AB = CD$ indique le petit axe de l'ellipse, on aura, à cause du triangle rectangle BEO, dans lequel BO indique la moitié du grand axe, BE la moitié du petit, et OF la distance du centre de l'ellipse au foyer, $\overline{EO^2} + \overline{BE^2} = \overline{BO^2}$, qui donne $\overline{EO^2} = \overline{BO^2} - \overline{BE^2}$; et comme $OF = EO$, on a $\overline{OF^2} = \overline{BO^2} - \overline{BE^2}$. BO et BE représentant les deux demi-axes de l'ellipse, on aura, comme dans le cas précédent, $BO + BE : OF :: OF : BO - BE$; c'est-à-dire que la distance OF est moyenne proportionnelle entre la somme des deux demi-axes et leur différence : donc F est un des foyers.

Si l'on considère l'ellipse produite par la section oblique AB d'un cône droit LKM, Figure 11, on trouvera de même les foyers en décrivant du point O, milieu de AB, les arcs RF et Gf des extrémités R et G de l'axe

du cône compris entre les lignes AH, IB, menées des extrémités de l'axe AB, parallèlement à la base du cône.

DÉMONSTRATION.

Si du point O, milieu de AB, on mène une troisième parallèle PN, elle indiquera le diamètre du cercle qui répond au centre de l'ellipse, et dont l'ordonnée OD est égale à la moitié du petit axe et AO à la moitié du grand.

Si du point D comme centre, avec un rayon égal au demi-axe AO, on décrit sur OP une section qui coupe PN en C, et qu'on tire CD, on aura, à cause du triangle rectangle COD, dont l'hypothénuse est égale à la moitié du grand axe, et le côté DO à la moitié du petit, $\overline{CD}^2 = \overline{CO}^2 + \overline{DO}^2$, et $\overline{CO}^2 = \overline{CD}^2 - \overline{DO}^2$, qui donne $CD + DO : CO :: CO : CD - DO$; mais comme $CO = GO = FO = OR$, on aura comme ci-devant, $CD + DO : FO :: FO : CD - DO$; ce qui prouve que les foyers de l'ellipse représentent les extrémités des axes de la partie de cylindre ou de cône dans laquelle est comprise la section oblique qui produit l'ellipse.

Des ovales et des anses de paniers.

Les constructeurs emploient ordinairement, pour le cintre des voûtes surhaussées ou surbaissées, une composition d'arcs de cercle qui diffère de l'ellipse, et qu'ils désignent sous le nom d'*ovale* ou d'*anse de paniers* : les menuisiers, les marbriers et les serruriers en font également usage pour des cadres ou des panneaux.

Le procédé pour tracer ces courbes est fondé sur deux conditions générales : la première est que, pour former avec des arcs de cercle une courbe fermée, il faut que la somme de ces arcs soit de 360 degrés; la seconde est que les centres des arcs qui se joignent soient toujours sur une même ligne, comme nous l'avons déjà observé, page 41.

Les ovales dont nous venons de parler sont le plus souvent à quatre centres. La longueur du grand axe étant déterminée, celle du petit dépend du rapport des arcs qui se réunissent.

Par le procédé indiqué dans la Figure 1, Planche XX, on divise le grand axe en trois parties égales aux points P et Q, desquels, comme centre et d'une de ces parties pour rayon, on décrit deux circonfé-

rences de cercle qui se coupent aux points O et N. Ces points, avec les deux autres P et Q, sont les centres pour décrire l'ovale, en traçant préalablement les lignes 1PN, OP3, OQ4 et NQ2, pour indiquer les points de réunion des arcs. Comme les arcs 1A3, 2B4, qui doivent former les courbures des extrémités du grand axe, font partie des premières circonférences décrites, il ne reste plus, pour terminer l'ovale, qu'à tracer des points N et O, les arcs 1C2, 3D4, qui seront, à cause des triangles équilatéraux POQ, PNQ, chacun de 60 degrés, et les arcs 1A3, 2B4, de chacun 120, ce qui donne, pour la somme des quatre arcs, 360 degrés : ainsi les deux conditions générales pour la formation d'un ovale sont remplies.

Dans la Figure 2, le grand axe est divisé en quatre parties égales, aux points L, O, M; de ces points, comme centres, et pour rayon d'une de ces parties, on décrira trois circonférences de cercle. Celle du milieu qui passe par les centres des deux autres, se trouvera divisée en quatre parties égales aux points H, L, M, K, qui seront les quatre centres de l'ovale. Après avoir tiré les lignes HL3, HM4, KL1, KM2, pour indiquer la jonction des arcs, on décrira ceux indiqués par 1D2, 3C4, lesquels, avec les parties des cercles déjà décrits des points L et M, formeront l'ovale. Les angles formés par les lignes 1L3, 2M4, 1K2, 3H4, étant tous droits, chacun des arcs qui y répondent sera de 90 degrés, et la somme des quatre de 360 degrés.

Le procédé indiqué par la Figure 3 consiste à faire deux carrés à côté l'un de l'autre sur une même ligne. De la moitié de chacune des diagonales de ces carrés se forme un autre carré, dont les angles E, G, F, H, sont les centres pour décrire l'ovale; savoir, G pour l'arc 3A1, H pour l'arc 2B4, F pour l'arc 1C2, et E pour 3D4. Chacun de ces arcs étant de 90 degrés, les quatre donnent, comme pour la figure précédente, 360 degrés. Il est bon de remarquer que dans le dernier procédé aucun des axes n'est fixé, et de plus, que chacun d'eux ne peut servir que pour un seul cas, c'est-à-dire pour un même rapport entre les deux axes.

On voit, par la Figure 1, que plus les arcs des extrémités sont grands par rapport à ceux du milieu, plus l'ovale est ouvert. Comme la courbure du cintre des voûtes influe beaucoup sur leur solidité, j'ai cherché, dans les courbes géométriques, celles qui peuvent servir de limites au plus ou moins de courbure qu'on peut leur donner.

Par rapport aux courbes qui peuvent être inscrites dans un rectangle, j'ai trouvé que la cicloïde est celle qui présente le plus de courbure, et que celle qui en a le moins, est la cassinoïde, appelée quelquefois *ovale de Cassini*, ou *ellipse cassinienne ;* en sorte que l'ellipse des sections coniques tient le milieu entre ces deux courbes. Bien que nous ayons reconnu, ainsi qu'on le verra ci-après, que c'est l'ellipse qui convient le mieux, dans tous les cas, nous ne laisserons pas de donner une idée des deux autres courbes, et le moyen d'en approcher par des imitations. pour en faire usage dans les circonstances où elles pourraient être utiles.

De la cicloïde.

La cicloïde est une courbe moderne dont l'invention est attribuée au père Mersenne. L'idée de cette courbe lui vint en 1615, en considérant, dans une des rues de Nevers, un clou remarquable d'une des roues d'une voiture. Il imagina que ce clou devait décrire, en raison du mouvement progressif et circulaire de la roue, une courbe particulière, dont il s'appliqua à rechercher la nature. M. Roberval l'aida à résoudre les principales difficultés de ce problème ; il trouva que l'espace de la cicloïde est à celui du cercle générateur, comme 3 est à 1. Descartes résolut le problème des tangentes, et le célèbre Wren, architecte de Saint-Paul de Londres, trouva la rectification de cette courbe qu'il démontra être quadruple de son axe. C'est principalement sur cette propriété que Huygens fonda sa démonstration de l'isochronisme dans la cicloïde.

On sait que le rapport du diamètre à la circonférence est, à très peu de chose près, comme 7 est à 22. Ce rapport, trouvé par Archimède, est assez juste pour les opérations ordinaires de la stéréotomie. Cela posé, si le diamètre AB, Figure 4, est donné, on le divisera en vingt-deux parties égales, dont on portera 7 sur l'axe de C en D ; on décrira sur CD, une circonférence de cercle dont on divisera chaque moitié en onze, qui seront par conséquent égales à celles du diamètre CD. De chacun de ces points de division, on mènera des parallèles indéfinies à AB : cela fait, on prendra dix parties sur AB, qu'on portera du point 10 de la circonférence du petit cercle en *a ;* ensuite neuf parties qu'on portera de 9 en *b ;* huit parties qu'on portera de 8 en *c ;* sept parties qu'on portera de 7 en *d*, et ainsi de suite. Après avoir marqué de cette manière les points *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, *i*, *k*, on tracera à la main, ou avec une règle

pliante, une courbe qui sera une moitié de cicloïde. Il est clair qu'on aura l'autre côté en opérant de la même manière.

Il faut remarquer que la cicloïde ne peut servir que pour un seul cas, c'est-à-dire, lorsque la hauteur du cintre est les $\frac{7}{22}$ du diamètre.

Cette courbe étant tracée, pour l'employer comme cintre, il reste à indiquer la manière de lui mener des perpendiculaires, pour former les coupes ou joints des voussoirs : on y parviendra par le moyen des tangentes. Ainsi soit un point quelconque *g*, sur lequel on ait à tracer une coupe; on mènera, par ce point *g*, et par l'extrémité de l'axe D, les lignes *g m*, DG, parallèles à AB, dont la première coupera le cercle générateur au point *4*. Sur *gm*, on prendra la longueur *gn* égale à *4* 11, qu'on portera de D en G; par les points G et g on mènera une ligne indéfinie qui sera tangente au point *g*, et la perpendiculaire *g*O sera en même temps un trait de la coupe et une perpendiculaire à la courbe.

De la cassinoïde.

La cassinoïde diffère de l'ellipse des sections coniques, en ce que ses foyers sont plus près du centre, ce qui rend la courbe plus ouverte aux extrémités du grand axe; d'où il résulte qu'elle renferme un plus grand espace que l'ellipse.

On sait qu'une des principales propriétés de l'ellipse est que la somme des lignes tirées des foyers à un même point de la circonférence, est toujours égale à la longueur du grand axe.

Dans la cassinoïde, Figure 5, le produit de ces deux lignes, F*g* et *gf*, est aussi égal au produit de AF × FB, ou de B*f* × *f*A.

Cette courbe ne peut pas servir comme l'ellipse, pour toute sorte de hauteur de cintre. La moindre hauteur CD est égale à $\sqrt{\frac{CB^2}{3}}$, c'est-à-dire, à environ les $\frac{3}{7}$ du grand axe AB. Lorsque cette hauteur est moindre, la courbe, au lieu de former une ellipse, fait en dessous une inflexion PEO, qui ne peut convenir, en aucune manière, au cintre d'une voûte.

Pour trouver la moindre hauteur de cintre de la cassinoïde, on portera le tiers de AC de C en *4*; et sur A *4*, comme diamètre, on décrira une demi-circonférence de cercle qui coupera en D la perpendiculaire élevée sur le milieu de AB : CD sera la hauteur cherchée.

Pour trouver les deux foyers dans ce cas, on portera la hauteur CD de C en F, et de C en f sur le diamètre ou grand axe AB.

Connaissant les deux foyers F, f, pour avoir autant de points qu'on voudra de la circonférence de cette courbe, il faudra, après avoir choisi un point quelconque b, entre C et f, chercher une quatrième proportionnelle aux lignes Bb, BF et Bf. On peut trouver cette quatrième proportionnelle par le calcul, en multipliant BF par Bf et divisant le produit par Bb, c'est le moyen le plus sûr; on peut aussi le trouver graphiquement, en élevant du point B une perpendiculaire indéfinie sur laquelle on portera Bh égale à BF; ensuite on tirera hb à laquelle on mènera une parallèle fx qui donnera la quatrième proportionnelle cherchée Bx.

Connaissant Bb et Bx des points F et f pour centres, et pour rayons Bb et Bx, on décrira des sections qui se croiseront aux points g, g, qui seront à la circonférence de la cassinoïde. En prenant autant de points qu'on voudra entre C et f, et répétant la même opération que pour le point b, chacune pourra donner quatre points pour une courbe entière; savoir, deux au-dessus de AB, et deux en dessous; deux points pour une demi-cassinoïde, et un s'il ne s'agit que d'un quart.

Si l'on porte la moitié AC du grand axe en CH, il est à propos de remarquer que plus la hauteur du petit axe (comme CG, Figure 6), CD approchera de CH, plus les deux foyers F, f, se rapprocheront du centre C; en sorte que cette hauteur étant devenue égale à CH, les deux foyers se réuniront en un même point C, et la courbe deviendra une demi-circonférence du cercle AHB.

Si le demi-axe CD devient plus grand que AC, ce sera sur CD, devenu grand axe, que se trouveront les foyers; d'où il résulte que pour un cintre surhaussé, il faut opérer sur l'axe vertical, comme nous avons opéré sur l'axe horizontal pour un cintre surbaissé.

Pour trouver les foyers, lorsque la hauteur du cintre est entre D et H, Figure 6, comme, par exemple, en G, il faudra élever une perpendiculaire indéfinie du point A, sur laquelle on portera le demi-diamètre AC de A en P; ensuite on tirera PG, qui coupera la demi-circonférence AHB en un point N. (Frezier prétend dans son *Traité de la coupe des pierres*, tome II, page 99, que si, de ce point N, on abaisse sur le diamètre AB, une perpendiculaire Ni, le point i sera un des foyers; mais c'est une erreur. Il paraît d'ailleurs que Frezier n'a pas bien connu cette courbe, puisqu'il la propose pour toute sorte de hauteur de cintre).

Lorsque le point G se trouve entre D et H, Ni n'est pas égale à iG; ainsi on ne pourrait pas avoir l'équation $Ai + iB = \overline{iG}^2$; donc le point i ne peut pas être un des foyers. Cette propriété n'a lieu que pour la moindre hauteur CD, c'est-à-dire, lorsqu'on a $CD = \sqrt{\frac{\overline{CB}^2}{3}}$.

Dans tous les autres cas, pour trouver un des foyers, il faut après avoir abaissé la perpendiculaire Ni, en mener une autre Kt par le milieu de NG, qui coupera AC en un point t, qui donnera tN égale à tG. Mais comme Nt ne sera pas perpendiculaire à AC, on n'aurait pas encore la propriété exprimée par l'équation de cette courbe considérée comme ellipse. Pour trouver une ligne qui donne cette propriété, il faudra tirer une ligne Gm, qui fasse avec GP, un angle PGm égal à iNt; le point O où cette ligne coupera la demi-circonférence, sera celui d'où il faudra abaisser une perpendiculaire sur AC, pour déterminer la position du foyer; il est évident qu'on aura l'autre en portant la distance CF de C en f. Avec ces deux foyers, on trouvera en opérant, comme il a été ci-devant expliqué, autant de points qu'on voudra de la cassinoïde.

Pour mener une tangente à cette courbe en un point quelconque R, on tirera par ce point et le foyer F, une ligne droite indéfinie sur laquelle on portera RS, troisième proportionnelle à RF et Rf, c'est-à-dire, qu'il faut que RS soit égale à $\frac{RF \times RF}{Rf}$; ayant ensuite mené Sf, du point R on lui mènera une perpendiculaire indéfinie qui sera la tangente cherchée. Ainsi, tirant par le point R une parallèle à Sf, il est évident qu'elle sera perpendiculaire à la courbe.

On peut trouver graphiquement la troisième proportionnelle RS, et la perpendiculaire RT à la courbe, en portant Rf de R en M, et menant par le point M une parallèle à AB, qui coupera Rf en V; ayant ensuite porté RV de R en S, on tirera Sf, à laquelle si l'on mène une parallèle par le point R, RT sera perpendiculaire à la courbe.

Comparaison de l'ellipse des sections coniques aux deux courbes précédentes.

Pour faire la comparaison de ces courbes relativement à leur emploi aux cintres des voûtes, il a fallu choisir le rapport des demi-axes de la cicloïde qui ne convient qu'à un seul cas, c'est-à-dire lorsque le grand demi-axe est au petit, comme 11 est à 7.

Soit le rectangle AHDC, Figure 7, dans lequel sont inscrites trois courbes,

1°. La cassinoïde AGD,

2°. L'ellipse des sections coniques AKD,

3°. La cicloïde ALD.

Le rapprochement de ces trois courbes fait voir que la plus ouverte est la cassinoïde; que celle qui l'est le moins est la cicloïde; et que l'ellipse des sections coniques, qui est moyenne, approche cependant plus de la cicloïde que de la cassinoïde.

Pour mieux faire sentir ce rapport, j'ai imaginé un moyen commun d'imiter ces trois courbes par un même nombre d'arcs de cercle, dont la longueur des rayons indique le plus ou moins de courbure.

Pour l'ellipse, après avoir tiré la diagonale HC du point H, on décrira le quart de cercle AE qui coupera la diagonale au point *m*. On fera l'arc A*n* égal à l'arc E*m*, et par les points H et *n*, on tirera une ligne qui coupera le demi-axe AC au point *e*, qui sera un des centres pour imiter cette courbe.

On aura l'autre en portant A*e* de D en *g* et élevant sur le milieu de *ge* une perpendiculaire qui rencontrera le demi-axe CD prolongé en un point M, qui sera le second centre. Ayant tiré par les deux centres trouvés, la droite indéfinie M*ep*, on décrira du centre *e* l'arc AP, et du centre M l'arc PD, qui formeront ensemble l'imitation d'un quart d'ellipse.

Pour la cassinoïde, on divisera l'arc *mn* en trois parties égales; du point H et du point 2 d'une de ces divisions, on tirera une ligne droite qui coupera le demi-axe AC au point *d*, qui sera un des centres pour imiter cette courbe. On aura l'autre en portant, comme pour l'ellipse, A*d* en D*i*, et élevant sur le milieu de *di*, une perpendiculaire qui coupera l'axe CD prolongé en N, qui sera le second centre. Après avoir tiré la droite N*dq*, pour indiquer la jonction des arcs, on tracera du point *d* comme centre l'arc A*q*, et du point N, l'arc *q*D, qui formeront ensemble l'imitation d'un quart de cassinoïde.

Pour la cicloïde, on portera le tiers de l'arc *nm* de *n* en 4, et on tirera la droite H4, qui rencontrera le demi-axe AC, en *b*, qui sera un des points de centre. On aura l'autre en portant A*b* de D en *r*, et élevant sur le milieu *f* de *br*, une perpendiculaire qui coupera le petit axe CD

prolongé en *l*; ce point sera l'autre centre. Ayant tiré par les deux centres la droite indéfinie *lbo*, on tracera la courbe comme ci-devant.

La différence sensible qu'offrent entre elles ces courbes, considérées comme cintres de voûtes, influe beaucoup sur leur solidité. La théorie, d'accord avec l'expérience, prouve que dans les voûtes surbaissées, plus la partie de cintre du milieu est courbe, moins la voûte a de poussée : ainsi le cintre A*q*D pousse beaucoup plus que celui APD, et A*o*D moins que APD[1]; d'où il résulte que, si on a en vue la solidité, il faut choisir un cintre qui approche plus de la courbure de la cycloïde que de la cassinoïde. Cependant cette dernière, qui est plus ouverte, présente dans certains cas une forme plus agréable qui se raccorde mieux avec des pieds-droits à plomb; mais elle agit avec plus de force, et exige une plus forte épaisseur dans ses supports.

L'ellipse, dont la courbure est moyenne, réunit la solidité à la régularité; c'est pourquoi elle doit être presque toujours préférée, d'autant plus qu'elle a la propriété de pouvoir servir pour toutes les hauteurs de cintre; tandis que la cassinoïde a des limites, et que la cycloïde ne convient que pour un seul cas.

Il résulte toutefois du procédé que nous avons suivi pour imiter ces courbes, qu'on peut en approcher, dans tous les cas, en prenant, pour déterminer les centres sur le grand axe, Figure 7, des points tels que 2 et 4, placés au-dessus ou au-dessous de *n*, à une distance qui ne doit pas être plus grande que le tiers de l'arc *mn*. Le rapport le plus convenable, lorsque la hauteur du cintre CD n'est pas moindre du tiers du diamètre AB, est le quart; dans le cas où le cintre serait plus surbaissé, l'ellipse est la seule courbe qui puisse convenir.

Des cintres a onze centres, qui ne sont pas des imitations d'ellipse.

La manière de tracer une courbe composée de plus de trois arcs de cercle est un problème indéterminé qui peut avoir un grand nombre de solutions.

Il ne suffit pas de connaître le diamètre, la hauteur du cintre et le nombre d'arcs dont il doit être formé, il faut de plus savoir si ces arcs doivent être égaux, c'est-à-dire d'un même nombre de degrés, quoique de

[1] Cette théorie sera développée dans le Livre IX.

rayons différens; et si le nombre de degrés de chaque arc doit être inégal, ou dans quelle proportion il varie, ainsi que la longueur des rayons.

Nous commencerons par donner la méthode dont on s'est servi pour tracer la courbe du cintre des arches du pont de Neuilly, qui est formée de onze arcs de cercle, ce qui fait pour le demi-cintre représenté par la Figure 1 de la Planche XXI, six arcs qui diffèrent par le nombre de degrés et la grandeur des rayons.

Première méthode.

Pour tracer cette courbe, qui est plus ouverte que l'ellipse, après avoir déterminé le demi-diamètre AC à 60 pieds ou 19 mètres $\frac{1}{2}$, et la longueur du rayon A*d* des arcs des naissances au tiers de AC, on a divisé *d*C en quinze parties égales, dont on a donné une à *di*, deux à *ik*, trois à *kl*, quatre à *lm* et cinq à *m*C; ayant ensuite fixé CH au double de AC, on l'a divisé en cinq parties égales, et des divisions D, E, F, G, H, on a mené des lignes à celles de l'horizontale *d*C, assez prolongées pour servir à déterminer la grandeur des arcs dont les centres sont donnés par le croisement de ces lignes. Telles sont les lignes D*d*I, E*i*K, F*k*L, G*l*M et H*m*N, dont les points d'intersection *e*, *f*, *g*, *h* ont donné les centres des arcs intermédiaires. Ainsi *d* est le centre de l'arc AI, *e* celui de l'arc IK, *f* de l'arc KL, *g* de l'arc LM, *h* de MN et H de NB.

On peut trouver par le calcul trigonométrique la valeur en degrés de chacun de ces arcs, et la longueur des rayons, en considérant que l'angle A*d*I est égal à C*d*D, ce qui donne *d*C est à CD comme le rayon est à la tangente de l'arc cherché, qu'on trouvera de 30 degrés 58 minutes; de même les angles I*e*K, E*e*D étant égaux, donneront *i*C est à CE, comme le rayon est à la tangente de la somme des arcs AI plus IK, égale à 52 degrés 9 minutes, dont ôtant l'arc précédent, il reste 21 degrés 11 minutes pour l'arc cherché.

Les angles égaux K*f*L, E*f*F donneront *k*C est à CF comme le rayon est à la tangente de la somme des arcs AI + IK + KL, dont ôtant la somme des arcs AI + IK, le reste 13 degrés 53 minutes sera la mesure de l'arc KL : par le même procédé on trouvera l'arc LM de 9 degrés 55 minutes.

l'arc MN de 7 degrés 42 minutes.

l'arc NB de 6 degrés 21 minutes.

La somme de ces arcs étant de 90 degrés, ils doivent former un demi-cintre qui se raccorde avec les tangentes PB et PA, dont une est hori-

zontale et l'autre perpendiculaire; ainsi, la courbe qui en résulte satisfait aux conditions qu'on se propose ordinairement dans la solution de ce problème. Cependant il faut observer que les arcs dont il est formé sont inégaux, et ne suivent aucune progression régulière dans leur diminution, en partant des naissances; ce qui doit nuire à l'uniformité de la courbure. Je pense qu'il serait mieux d'adopter dans la mesure de ces arcs un rapport déterminé.

Deuxième méthode.

La Figure 2 représente un demi-cintre composé de six arcs, dont l'ouverture va en augmentant en progression arithmétique depuis le milieu de la clef jusqu'à la naissance; on a déterminé le petit rayon A*d* par la méthode que nous avons indiquée page 53, parce que cette méthode convient à tous les rectangles dans lesquels des cintres elliptiques peuvent être inscrits. Ainsi, après avoir tiré la diagonale PC et décrit le quart de cercle AQ, on a fait l'angle AP*n* égal à l'angle *o*PQ, et le prolongement de la ligne P*n* a donné le point *d* sur le demi-diamètre AC, et le point H sur l'axe BC prolongé. Les deux points *d* et H sont les centres des deux arcs extrêmes. Pour avoir ceux des quatre autres intermédiaires, on a tiré une parallèle I*d* à PC, qui donne le premier arc AI de 27 degrés; cet arc est le sixième terme d'une progression arithmétique dont il s'agit de trouver le premier terme et la différence. Ainsi, nommant x ce premier terme, et d la différence, on trouvera la valeur de x égale à 3 degrés, et la différence d égale à 4 degrés 48 minutes; ainsi, l'arc AI étant de 27 degrés, IK sera de 22 degrés 12 minutes; KL de 17 degrés 24 minutes; LM de 12 degrés 36 minutes; MN de 7 degrés 48 minutes, et NB de 3 degrés, et le tout ensemble de 90 degrés. La valeur de ces arcs étant connue, du point C et CA pour rayon, on a décrit le quart de cercle AR, on a fait VR égal au cinquième de cet arc qui donne 18 degrés. Cet arc, divisé en six, donne *t*R de 3 degrés, qui est le premier terme de la progression arithmétique. Pour avoir la différence, on a divisé l'arc AV en quinze, qui donne *s*V pour cette valeur.

Ayant ensuite divisé DH aussi en 10 parties, on en a donné quatre à DE, trois à EF, deux à FG, et une à GH.

Du point H, et avec un rayon égal à CR, ayant décrit un arc, on a porté *t*R, de 1 en 2, et on a tiré H2N, qui forme avec HB un angle de 3 degrés.

Du point G, et CR pour rayon, on a décrit un second arc sur lequel on a porté de 3 en 4 la mesure des deux arcs BN et NM pris ensemble, égale à deux fois *t*R plus une fois *s*V; et on a tiré G4M qui forme avec HB un angle de 10 degrés 48 minutes, et avec GN un de 7 degrés 48 minutes.

Du point F, on a décrit avec le même rayon, un troisième arc sur lequel on a porté de 5 en 6 la mesure des trois arcs BN, NM et ML, qui est égale à trois fois *t*R et trois fois *s*V, et on a tiré F6L qui forme avec HB un angle de 23 degrés 24 minutes, et avec MG un angle de 12 degrés 36 minutes.

Du point E on a décrit un quatrième arc, toujours avec le rayon CR sur lequel on a porté pour la mesure des quatre arcs NB, NM, MN et LK, de 7 en 8, quatre fois *t*R et six fois *s*V, et on a tiré E8K qui fait avec HB un angle de 40 degrés 48 minutes, et un angle de 17 degrés 24 minutes avec MG.

Les points *h*, *g*, *f*, *e* où ces lignes se coupent, sont les centres des quatre arcs intermédiaires, qui, avec les deux extrêmes *d* et H, ont servi pour tracer la courbe de ce demi-cintre, savoir le point *d* pour l'arc AI, *e* pour l'arc IK, *f* pour l'arc KL, *g* pour LM, *h* pour MN, et H pour NB.

Pour décrire ces arcs, on peut commencer par le petit AI ou par l'arc BN; mais, dans tous les cas, il faut opérer avec d'autant plus de précision pour arriver exactement au point B quand on part du point A, ou au point A quand on part du point B, que la courbe est composée d'un plus grand nombre d'arcs. Cette observation est non-seulement applicable aux quatre Figures de cette Planche, mais en général à toutes les courbes de ce genre.

Troisième méthode.

Le cintre représenté par la figure 3 est composé de onze arcs égaux, c'est-à-dire d'un même nombre de degrés. Pour le tracer, on a commencé par déterminer les centres *d* et H, de la même manière que pour la figure précédente. Après avoir tiré la diagonale du rectangle PC, on a fait l'angle AP*d* égal à *o*PQ, et prolongé P*d* jusqu'en H.

On a ensuite décrit du point C, et avec AC pour rayon, un quart de cercle AR, dont on a divisé la circonférence en six parties égales.

Du point *d*, on a élevé une perpendiculaire jusqu'à la rencontre *q*, du rayon C 1, tiré de la première division du quart de cercle; de ce point *q*, on a mené la parallèle *qr* à *d*C, qui coupe aux points 6, 7, 8, 9, les rayons tirés des divisions 2, 3, 4, et 5 du même quart de cercle.

Après avoir porté les parties *q* 6, 6 7, 7 8, 8 9 et 9, *r* de C en *m*, de *m* en *l*, de *l* en *k*, de *k* en *i* et de *i* en *d*, de ces points *d*, *i*, *k*, *l*, *m*, et avec un rayon égal à CA, on a tracé des arcs de cercle sur lesquels on a porté l'arc A 1 de 15 degrés une fois 10 en D
deux fois de 11 en E,
trois fois de 12 en F,
quatre fois de 13 en G,
et cinq fois de 14 en 15.

Enfin, par les points D*d*, E*i*, F*k*, G*l* et H*m*, on a tiré des lignes dont le prolongement donne les arcs AI, IK, KL, LM, MN et NB d'un même nombre de degrés, c'est-à-dire de quinze. L'intersection de ces lignes donne de plus, comme dans les figures précédentes, les centres *d*, *e*, *f*, *g*, *h* et H, pour décrire ces arcs.

A la page 53 nous avons dit que, lorsqu'on veut avoir une courbe plus ouverte que l'ellipse, il faut faire l'angle AP*d* qui détermine le premier centre, plus grand que l'angle *o*PQ, en sorte cependant que la ligne P*d* ne passe pas à plus d'un tiers de l'arc *no*, au-dessus de *n*; mais la courbe du cintre qui en résultera en approchant de la cassinoïde, occasionera plus de poussée.

Dans la courbe représentée par la Figure 1, qui est celle des arches du pont de Neuilly, l'angle AP*d* est plus grand que l'angle *o*PQ d'environ un cinquième de l'arc *no*.

Si au contraire on veut une courbe moins ouverte que l'ellipse, et qui, comme la cicloïde, ait moins de poussée, on fera passer la ligne P*d* par un point qui ne doit pas s'éloigner en dessous de *n* de plus du quart de l'arc *no*; ainsi on peut, en changeant seulement le premier centre *d*, tracer, par les moyens que nous venons d'indiquer, des cintres plus ou moins ouverts.

Les intersections marquées *x* dans les Figures 1, 2, 3, indiquent des points de la circonférence de l'ellipse, pour faire voir de combien ces courbes en diffèrent.

Quatrième méthode pour former, avec le même nombre d'arcs de cercle, une imitation d'ellipse.

La Figure 4 représente un cintre qui a même hauteur et même diamètre que les précédens; il est tracé par la méthode que nous avons indiquée aux pages 40, 41 et 42.

On a divisé, comme dans l'exemple précédent, le quart de cercle AR en six parties égales, aux points 1, 2, 3, 4 et 5, par lesquels on a mené des parallèles à RC.

Du point C, et CB pour rayon, on a décrit un autre quart de cercle, divisé de même en six parties égales aux points 6, 7, 8, 9 et 10, par lesquels on a mené des parallèles à AC, qui rencontrent les premières aux points I, K, L, M, N, qu'on a joints ensuite par des lignes qui forment un polygone.

Sur le milieu de chacun des côtés de ce polygone, on a élevé des perpendiculaires indéfinies, dont les unes rencontrent les demi-diamètres AC, et BC prolongé, aux points *d* et H, et les autres se coupent entre elles aux points *e*, *f*, *g*, *h*, qui sont les centres des arcs répondant à chacun des côtés du polygone; ces arcs forment ensemble une courbe qui se rapproche beaucoup de l'ellipse.

Cette méthode facile est celle qui produit les cintres dont la courbe est la plus uniforme; elle a de plus l'avantage de former, dans tous les cas, des cintres dont la courbure est plus régulière, d'une forme plus agréable et plus solide.

OBSERVATIONS.

Après avoir fait connaître tout ce que la science offre de plus intéressant relativement aux courbes propres à former les cintres surbaissés, il est essentiel de faire remarquer que pour les voûtes surbaissées le cintre le plus solide est celui formé par un seul arc de cercle, AGB, Figure 8, Planche XX. Bien que les angles mixtilignes qu'il forme dans ses raccords avec les pieds-droits, aient paru défectueux, dans certains cas, aux yeux des architectes modernes, on voit cependant, dans les constructions antiques de Rome, et entre autres dans les Thermes, de semblables voûtes qui ne produisent pas un effet désagréable : on en voit aussi dans les bas-côtés de l'église de Saint-Pierre de Rome, qui sont ornés de caissons, et qui ne déparent en rien la belle architecture de ce monument.

Des voûtes surhaussées.

Les voûtes surhaussées, c'est-à-dire dont la hauteur du cintre est plus grande que la moitié du diamètre, ont l'avantage de pousser moins que celles en plein cintre, et par conséquent que les voûtes surbaissées : cependant, malgré cet avantage, lorsque le surhaussement passe le quart du diamètre, le cintre produit un mauvais effet qui doit déterminer à n'en faire usage que dans les cas où la forme doit le céder à la solidité.

Il est aisé de voir qu'en prenant pour demi-diamètre la moitié du demi-axe CD, Figure 7, Planche XX, et pour hauteur de cintre le demi-grand axe AC, tout ce que nous avons dit des trois courbes précédentes par rapport aux cintres des voûtes surbaissées, peut s'appliquer aux voûtes surhaussées. Dans ce cas, la cassinoïde dont la courbe est la plus ouverte produit encore un meilleur effet, relativement à la forme, que pour les voûtes surbaissées ; mais de même elle a moins de solidité, exige plus d'épaisseur et pousse davantage.

La cicloïde produit des voûtes plus solides, qui agissent avec moins d'effort; mais sa courbure trop resserrée rend sa forme encore plus désagréable que pour les voûtes surbaissées. Enfin les voûtes surhaussées les plus solides et qui poussent le moins, sont celles dont le cintre est formé de deux arcs de cercle AH, BH, figure 8, comme les voûtes gothiques. Cette propriété rend le cintre ogif d'un grand secours pour les élégissemens, les décharges et généralement dans toutes les constructions cachées dont l'unique objet est d'unir la solidité à la légèreté. De pareils avantages ne font que plus vivement regretter de voir que la forme de ces arcs soit devenue un motif suffisant pour les proscrire de l'architecture moderne. Les architectes goths ont cependant obtenu les effets les plus pittoresques et les plus majestueux de leur emploi dans une foule de combinaisons aussi ingénieuses que variées. Nous ferons voir, dans la suite, que c'est le cintre qui convient le mieux aux voûtes d'arêtes à cause de leur grande poussée lorsqu'elles sont en plein cintre.

Des cintres pour les arcs rampans.

On fait usage de ces arcs pour former des ouvertures ou des élégissemens sous des parties de constructions en pente, telles que des toits, des rampes d'escalier. On se sert aussi des arcs rampans pour contrebuter les points d'appui des voûtes d'arête.

Le cintre de ces voûtes est ordinairement formé de deux arcs de cercle de rayons différens, qui se raccordent avec trois tangentes, dont deux forment les pieds-droits, et la troisième, qui n'est que d'opération, détermine le sommet du cintre; c'est pourquoi elle est appelée *ligne de sommité*. Ainsi les deux arcs de cercle à décrire doivent se raccorder ensemble, sur la ligne de sommité; et avec celles des pieds-droits, à la hauteur des naissances déterminées par une ligne inclinée, qu'on appelle *ligne de rampe*.

C'est la ligne de sommité, et le point d'attouchement de la courbure du cintre sur cette ligne, qui sert à déterminer la ligne de rampe, la grandeur des arcs et la position de leurs centres.

Soit FG, Fig. 1, Planche XXII, la ligne de sommité, et T le point d'attouchement, FAH et GBE la direction des pieds-droits; on déterminera la ligne de rampe qui passe par les points des naissances, en portant FT de F en A, et TG de G en B : si l'on tire AB, elle sera la ligne de rampe.

Pour avoir les cintres, on tirera du point T une perpendiculaire indéfinie à FG, et deux autres, des points A et B aux directions des pieds-droits : les points *g* et C où elles se rencontreront seront les centres pour décrire le cintre : savoir, C pour l'arc AT, et *g* pour l'arc TB.

Cette opération est fondée sur une des propriétés du cercle, démontrée dans Euclide, et dans la plupart des élémens de géométrie, par laquelle il est prouvé que si d'un point pris hors d'un cercle, ou d'un arc de cercle, on mène deux tangentes, elles seront toujours égales.

Quand le point T est pris dans le milieu de la ligne de sommité Fig. 2, la ligne de rampe se trouve parallèle à cette ligne; parce qu'alors TF étant égale à TG, GB doit se trouver égale à FA. Toutes les fois

que le point T n'est pas dans le milieu de la ligne de sommité, elle n'est pas parallèle à la ligne de rampe.

Lorsque c'est la ligne de rampe qui est donnée, pour trouver la position de la ligne de sommité, dont on connaît l'inclinaison, on tirera, à une distance quelconque de AB une ligne *ef* qui ait l'inclinaison donnée; ensuite des points *e*, *f*, comme centre, on décrira deux arcs de cercle A*h*, B*k*, jusqu'à la rencontre de la ligne de sommité *ef*, supposée.

Si par les points A*h*, B*k*, on tire des lignes prolongées indéfiniment, le point T où elles se rencontreront indiquera le point d'attouchement par lequel doit passer la ligne de sommité; c'est-à-dire en dessus, si la ligne *ef* supposée était trop basse, et en dessous si elle était trop haute, comme on le voit par la figure 2.

Lorsque la ligne de sommité doit être de niveau, si l'on connaît la ligne de rampe, on peut déterminer la position du point d'attouchement sur la ligne de sommité, en décrivant du point H, Figure 5, le quart de cercle BL, qui coupera AH prolongé en L; divisant ensuite AL en deux parties égales au point G, on fera passer par ce point une perpendiculaire indéfinie, sur laquelle on portera la grandeur GA de G en D : ce point sera celui d'attouchement par lequel doit passer la ligne de sommité EF. Menant du point B une perpendiculaire à BH, elle rencontrera DG en un point I, qui sera le centre du petit arc DB, et G celui du grand arc AD.

Il est essentiel d'observer qu'en employant plus de deux arcs de cercle, on peut former des arcs rampans, quelle que soit la position et la distance de la ligne de sommité par rapport à la ligne de rampe. Voici quel est le moyen, qui ne se trouve dans aucun auteur.

Soient les figures 3, 4, 6 et 7, dans lesquelles les lignes de sommité *e*, *f*, sont placées trop haut ou trop bas pour que les arcs rampans puissent être décrits par deux arcs de cercle : ayant tracé des points *e* et *f*, les arcs B*h* et A*k*, si la ligne de sommité est trop élevée, comme dans les figures 3 et 6, on portera la distance *hk* de G en L, et du point L, comme centre, on décrira l'arc R*dm*; et ayant porté *d*L de B en *o*, du point *o* on en décrira un autre qui croisera le premier en *m* : après avoir fait *mn* égal à *dm*, on tirera *no* qui coupera *d*L en *i*, et de ce point, comme centre, on décrira l'arc *dn*, en raccordement avec les deux premiers.

On portera ensuite *d*L de A en P, et après avoir tiré PL, on fera

passer par son milieu une perpendiculaire qui rencontrera AG prolongé, en Q : ayant tiré QLR, on décrira du point Q l'arc AR.

Si la ligne de sommité est au-dessous du point D, comme aux figures 4 et 7, après avoir décrit les arcs B*h* et A*k*, on portera l'intervalle *hk* de G en L, en dessous de AH, et du point L, comme centre, on décrira l'arc indéfini R*dm*, et le surplus comme nous l'avons expliqué pour les autres.

Pour donner plus de régularité à la courbure des arcs rampans, on peut encore les composer d'un certain nombre d'arcs de cercle d'un même nombre de degrés, dont les rayons diminuent d'une même quantité.

Soit DA, figure 8, la largeur du cintre entre les pieds-droits, que nous supposons parallèles, et BA la ligne de rampe; si l'on veut former ce cintre de six arcs égaux, on décrira sur DB, qui indique la hauteur de la rampe, une demi-circonférence de cercle qu'on divisera en six parties égales; on tirera une des cordes 2, 3, qui sera le côté du polygone inscrit, à laquelle on mènera une parallèle tangente à l'arc, et terminée par les deux rayons, pour avoir le côté du polygone circonscrit : on portera six fois ce côté de D en E, pour avoir le développement des six côtés; on divisera ensuite AE en deux parties égales au point C, par lequel on élèvera une perpendiculaire C*d*; on portera de C en 1, et de *d* en 6, la moitié d'un des côtés du polygone circonscrit, et du point 1, la ligne 1 *b*, qui fasse avec 1 A, un angle de 30 degrés, de manière que l'arc A*b* soit égal à la sixième partie de la demi-circonférence A*bm*E. Sur cette ligne on portera de 1 en 2, une des divisions 1, 2, égale au côté du polygone circonscrit : et du point 2, on tirera une seconde ligne qui fasse avec 2*b*, un angle de 30 degrés, en décrivant du point 2, avec un rayon égal à 1 A, un arc 7, 8, égal à *b*A.

Portant de même de 2 en 3 une autre partie, on tirera du point 3 une ligne qui fasse encore, avec la précédente, un arc de 30 degrés, en décrivant du point 3, avec un rayon égal à 1 A, un arc 9, 10, égal à *b*A, et ainsi de suite, comme on le voit indiqué dans cette figure. On pourrait avoir ces lignes en décrivant sur C*d*, comme diamètre, une demi-circonférence de cercle à laquelle on circonscrirait un polygone de six côtés; mais cette opération, à cause de la petitesse des côtés qu'il faudrait prolonger, ne serait pas aussi juste. Cette courbure est plus agréable que toutes celles que nous venons de décrire, et même que l'ellipse.

On peut encore former le cintre des arcs rampans, avec des demi-ellipses, en prenant la ligne de rampe AB, et celle DCR, qui passe par le point d'attouchement pour deux diamètres conjugués, figure 9 : ces demi-ellipses seront faciles à tracer, si l'on connaît les deux axes. Pour les trouver, de l'extrémité D du petit diamètre DCR, on abaissera sur l'autre AB, une perpendiculaire DE, qu'on prolongera indéfiniment vers M; ensuite on portera le demi-diamètre AC de D en M, et on tirera MC, qu'on divisera en deux parties égales au point N. Des points N et D, ayant tiré une droite indéfinie, du point N, comme centre, et NC pour rayon, on décrira un arc qui coupera la ligne ND prolongée en un point G, qui sera un des points du grand axe, dont on aura la direction en tirant de ce point au centre C, la droite *f*CG.

Si l'on porte ND de N en S, CS sera égal à la moitié du grand axe, qu'on portera de C en K et de C en L. Faisant ensuite passer par le centre C une perpendiculaire au grand axe LK, elle indiquera le petit axe, dont on aura la longueur en portant la grandeur DG de C en H et de C en I. Connaissant les deux axes, on décrira l'ellipse comme nous l'avons ci-devant enseigné.

Lorsque la tangente qui doit former la ligne de sommité d'un arc rampant n'est pas parallèle à la ligne de rampe, figure 10, on détermine le point d'attouchement, pour une ellipse, en portant B*m* de *m* en *g*, et tirant A*g*, qui coupera la ligne de sommité en un point T qui sera le point cherché. Si l'on mène TV, parallèle à B*m*, elle sera une ordonnée au diamètre AB.

Pour trouver l'autre diamètre conjugué CD, il faut du milieu C de AB, élever une perpendiculaire C*d* égale à CB, à laquelle on mènera une parallèle par le point V, et une autre à CD; ayant ensuite décrit l'arc *d*B, du point *b*, où il coupera V*e*, on tirera *b*T à laquelle on mènera une parallèle *eh*, qui exprimera la grandeur du demi-diamètre CD conjugué à AB. On aura sa position, en menant par le centre C une parallèle à TV, et sa longueur en portant V*h* de C en D et de C en R.

Connaissant les deux diamètres conjugués, on cherchera les deux axes en opérant comme pour la figure précédente, et on tracera, par le moyen de ces deux axes, l'ellipse ou la demi-ellipse qui doit former l'arc rampant, dans tous les cas où les lignes de rampe et de sommité prolongées pourront se rencontrer en un point, comme on le voit en X pour cette figure.

On peut se dispenser de chercher les axes pour tracer une ellipse dont on connait deux diamètres conjugués ACB, DCE, figure 11 : après avoir mené par le point D la ligne DT parallèle à AB, et par le point C la perpendiculaire CK, qui rencontrera DT au point K, on prolongera cette ligne vers F; ensuite du point C comme centre et avec le rayon CK, on décrira le quart de cercle HK, et avec le demi-diamètre CB pour rayon, un autre quart de cercle BF : on divisera ces deux quarts de cercle en un même nombre de parties égales. Par chacune de ces divisions marquées 1, 2, 3, dans l'un et l'autre quart de cercle, on mènera des parallèles au diamètre AB, indiqué par *aa*, *bb*, *cc*, et 1 L, 2 M, 3 N. Des points de division 1, 2, 3, du quart de cercle FB, on mènera des parallèles à FC, qui seront, par conséquent, perpendiculaires à AB, et qui couperont ce diamètre aux points *g*, *h*, *k*, par lesquels on ménera des parallèles à CD. La rencontre de ces lignes avec les parallèles *aa*, *bb*, *cc*, indiquera des points de la demi-circonférence de l'ellipse, par le moyen desquels on la tracera avec une règle pliante.

On trouvera les points de l'autre moitié, en prolongeant les parallèles à CD de l'autre côté du diamètre AB, et faisant ces prolongemens égaux à leur partie correspondante.

On peut changer une demi-circonférence de cercle en arc rampant, par des moyens beaucoup plus faciles, et qui donnent de même une demi-ellipse.

Ayant décrit une demi-circonférence de cercle AHB, figure 12, dont le diamètre soit égal à la largeur de l'arc rampant, on la divisera par des lignes parallèles au diamètre AB; on tracera entre les parallèles A*a*, B*b*, la ligne de rampe *ab*; et après avoir fait *ch* égale à CH, on portera dessus les divisions du demi-cercle, et on tracera des parallèles à la ligne de rampe, sur lesquelles on portera les largeurs OR et RO en *or* et *ro*; celles IG et GI, sur *ig*, *gi*; DE et EF, sur *de* et *ef*. Par toutes les extrémités de ces lignes, on tracera une courbe rampante qui sera une demi-ellipse.

On obtient le même résultat en divisant le cercle par des perpendiculaires au diamètre, figure 13, et faisant *de*, *fg*, *hi*, *kl*, *mn*, égales à DE, FG, HI, KL, MN.

Par ces moyens simples, on peut non-seulement transformer une demi-circonférence de cercle en arc rampant, mais encore toutes sortes de courbes.

CHAPITRE DEUXIÈME.

DES COURBES OUVERTES.

Il y a des circonstances où l'on peut faire usage, pour le cintre des voûtes surhaussées ou surbaissées, des courbes ouvertes, telles que la parabole, l'hyperbole et la chaînette. Les deux premières sont quelquefois nécessitées par la pénétration ou la rencontre des voûtes coniques, et la troisième par des raisons de solidité, comme au dôme de l'église Sainte-Geneviève, ainsi qu'on le verra au Livre neuvième.

De la parabole.

Cette courbe est produite par la section d'un cône, parallèlement a un des côtés, Figure 9, Planche XX. Les géomètres grecs l'ont ainsi nommée du mot παραβολὴ, *parfait rapport*, *égalité*, à cause d'une de ses principales propriétés qui donne, dans tous les cas, le carré des ordonnées égal au produit des abscises correspondantes, par le paramètre.

Voici la manière la plus facile de tracer cette courbe, lorsqu'on connaît l'axe CD qui indique la hauteur du cintre, et la double ordonnée ACB qui fixe sa largeur ou diamètre au droit de sa naissance.

On divisera l'axe CD, et chacune des ordonnées CA, CB, en un même nombre de parties égales, par exemple, en quatre : par les points de division de ces ordonnées, on mènera des parallèles indéfinies à l'axe; ensuite, pour le côté DB, on tirera du point A, par tous les points de division de l'axe, des lignes droites qui, étant prolongées, couperont les parallèles menées des divisions de CD, savoir, A 1 en *a*, A 2 en *b*, A 3 en *c* : les points *a*, *b*, *c*, seront des points de la parabole par lesquels, et les points D, B, on fera passer, à la main, ou avec une règle pliante, une courbe qui sera un demi-cintre parabolique.

Il est clair qu'en opérant du point B, comme on a fait du point A, on déterminera, sur les parallèles menées des points de division de l'ordonnée CA, les points *d*, *e* et *f*, de l'autre moitié de parabole.

Mais on peut se dispenser de cette opération, à cause de la symétrie de la courbe, en portant 3 *c* de 1 en *f*, 2 *b* de 2 en *e*, et 1 *a* de 3 en *d*.

Pour mener des perpendiculaires à cette courbe, il faut connaître son paramètre, c'est-à-dire, une troisième proportionnelle à CD et CA.

Pour cela, ayant tiré AD, on élèvera sur le milieu de cette ligne une perpendiculaire indéfinie qui coupera l'axe CD au point E; duquel, comme centre, et avec ED pour rayon, on décrira la demi-circonférence DAL, qui rencontrera l'axe CD prolongé en L : CL sera le paramètre.

Connaissant le paramètre ; pour élever une perpendiculaire à cette courbe d'un point quelconque M, on mènera par ce point MP, parallèle à CB, et on portera la moitié du paramètre CL de P en N; on tracera ensuite NMO qui sera la perpendiculaire cherchée.

De l'hyperbole.

Si l'on imagine deux cônes droits égaux, Figure 1, Planche XXIII, enfilés dans le même axe IH, et coupés par un plan M*mn*N, parallèle à cet axe, ou situé de manière à pouvoir les couper, les sections MAN, *man*, qui en résulteront, seront des hyperboles. Ce mot vient du grec ὑπερβολή, qui signifie *excès*. Les anciens géomètres lui ont donné ce nom, parce que, dans cette courbe, le carré d'une ordonnée quelconque PM ou *pm*, est plus grand que le produit du paramètre par la partie AP ou *ap*, tandis qu'il est égal dans la parabole, et plus petit dans l'ellipse. On attribue les dénominations de parabole, d'ellipse et d'hyperbole à Apollonius, surnommé le grand géomètre, qui a voulu indiquer par ces noms, l'égalité dans la parabole, le défaut dans l'ellipse, et l'excès dans l'hyperbole.

Au lieu de deux cônes opposés, les géomètres en supposent quelquefois quatre, figure 2, qui se joignent immédiatement selon les lignes EH, DG, et dont les axes qui les enfilent deux à deux forment deux lignes droites IK, LM, qui se croisent au centre C dans un même plan.

Pour se faire une idée de cette disposition, il faut imaginer deux cônes entiers ECG, GCH, dont les angles au sommet pris dans le plan de leurs axes, soient supplément l'un de l'autre; c'est-à-dire, que la valeur de ces angles, pris ensemble, soit de 180 degrés ou de deux angles droits. Si l'on coupe chacun de ces cônes en deux parties égales par des sections qui passent par l'axe, il en résultera quatre demi-cônes, lesquels étant posés sur leur surface plate et triangulaire, disposés de manière que les moitiés d'un même cône soient opposées, comme ECG à DCH et DCE à GCH, elles composeront ensemble un parallélogramme ou un rectangle EDHG, dont les diagonales EH, DG, seront formées par les côtés des

demi-cônes. Si l'on imagine que ces demi-cônes, ainsi arrangés, soient coupés par un plan parallèle à celui sur lequel ils sont posés, il en résultera quatre hyperboles que les géomètres appellent *conjuguées*. A*a* sera le premier axe des deux hyperboles opposées MA*m*, N*an*, et B*b*, le second axe : mais si l'on considère les deux autres hyperboles QB*q*, R*br*, alors B*b* devient le premier axe, et A*a* le second.

Les diagonales ECH, DCG, qui représentent les côtés des cônes, sont appelées *asymptotes*, mot tiré du grec qui signifie qui ne peut être atteint, parce que cette courbe s'approche continuellement, et à l'infini, de ces lignes sans pouvoir les rencontrer. Le point C, où se croisent les axes et les asymptotes, est appelé *centre*.

Lorsque les axes A*a* et B*b* sont égaux, les asymptotes qui se croisent au centre forment des angles droits, et les quatre hyperboles sont appelées *équilatères* ou *circulaires*, figure 3, parce que si, du centre C, on décrit un cercle, il touchera le sommet des quatre hyperboles qui seront semblables; mais si les angles sont inégaux, ce ne peut être qu'une ellipse; c'est pourquoi on les distingue quelquefois par la dénomination d'*hyperboles elliptiques*.

Les hyperboles ont un foyer comme la parabole; on le trouve en portant A*b* égal à C*f*, de C en F et F' ou *f* et *f*'; en sorte que les foyers des quatre hyperboles conjuguées, circulaires ou elliptiques, sont à une même distance du centre C.

La propriété des foyers est que si l'on tire d'un point quelconque d'une hyperbole circulaire ou elliptique, une ligne OF à son foyer, et une autre OF' au foyer de l'hyperbole opposée, placée sur le même axe, la différence de ces deux lignes sera toujours égale à l'axe sur le prolongement duquel se trouvent les foyers. Ainsi on aura O*f*' — O*f* = B*b*, et OF' — OF = A*a*.

Cette propriété fournit un moyen facile de décrire une ou deux hyperboles opposées.

Connaissant le premier axe A*a*, et les deux foyers F*f* de deux hyperboles opposées, Figure 4, pour les décrire par plusieurs points, il faut d'abord marquer sur une ligne indéfinie EG, Figure 4 *bis*, la partie EH égale à A*a*; ensuite des foyers F*f*, avec un rayon plus grand que A*f* ou *a*F, on décrira des arcs indéfinis *e*, *e*; on portera le rayon qui a servi à décrire ces arcs sur la ligne EG, de E en 1, et l'on prendra la différence H 1 avec laquelle, des mêmes foyers, on fera des sections

qui couperont les premiers arcs aux points 1 et 1, qui seront des points des hyperboles. On aura un second point en portant sur EG la partie E2 avec laquelle on décrira des foyers des arcs qu'on recroisera comme ci-devant, en prenant la partie H2 pour rayon des sections décrites des mêmes foyers.

En opérant de même, on aura autant de points 3, 4, des hyperboles qu'on jugera à propos, par lesquels, avec une règle pliante, on tracera ces courbes.

On peut aussi décrire l'hyperbole par un mouvement continu, figure 4, au moyen d'une règle FH, dont un bout serait fixé à un des foyers par une pointe autour de laquelle elle peut tourner, et d'un fil ou cordon plus petit que la longueur de cette règle attaché d'un bout à l'extrémité H de la règle, et de l'autre au foyer *f* de l'hyperbole que l'on veut décrire.

Lorsque le sommet *a* est fixé, il faut que quand la règle est sur l'axe F*f*, la longueur du cordon soit telle qu'en mettant une pointe pour le faire tendre, le pli tombe sur le point *a*. Alors en faisant mouvoir la règle autour du point F, en même temps que l'on tient la pointe le long de la règle pour faire tendre le cordon, elle tracera la courbe M*a*G qui sera une hyperbole. En plaçant une seconde, en sens contraire, on tracera l'hyperbole opposée, comme on le voit dans la Figure 4.

Nous ajouterons ici à ce que nous avons déjà dit à l'occasion de l'ellipse, que tous les moyens mécaniques imaginés pour tracer les sections coniques, ne valent pas, pour la précision, ceux de les décrire par plusieurs points.

Pour mener des tangentes et des perpendiculaires à une hyperbole dont on connait les asymptotes CE, CG, Figure 4, il faut, des points M et *m* où elles doivent rencontrer la courbe, mener des parallèles MH, *mh*, aux asymptotes CE et CG, et prendre les parties HD et *hd*, égales à HC et *h*C; les lignes tirées des points D et *d* aux points M et *m*, seront des tangentes auxquelles élevant des perpendiculaires MP et *mp*, elles le seront aussi à l'hyperbole.

Nous nous sommes un peu étendu sur les hyperboles et les lignes qui servent à leur description, parce que les géomètres qui en ont parlé en traitant des sections coniques, se sont plutôt occupés de leurs propriétés analytiques et géométriques, que de cet objet essentiel pour les arts, et surtout pour la partie que nous traitons.

De la chaînette.

On appelle ainsi la courbe A, C, B, figure 5, formée par une chaîne composée de maillons égaux, et suspendue par ses extrémités à deux points dont la distance est moindre que la longueur de la chaîne, en sorte que le sommet C de cette courbe est en dessous des points de suspension.

Plusieurs mathématiciens ont démontré que cette courbe relevée est tellement avantageuse pour former le cintre des voûtes, que les pierres ou voussoirs qui les composent, pourraient se soutenir sans le secours d'aucun mortier, plâtre ou ciment, leurs joints fussent-ils exactement polis; et même, ce qui paraît plus extraordinaire, *quand on substituerait des boules à ces voussoirs*, pourvu que les points de contact se trouvassent tous dans la direction de cette courbe.

Pour m'assurer de cette propriété, j'ai voulu faire une expérience avec des boules en pierre de Tonnerre, d'un pouce de diamètre. Sur une dalle, portant un rebord par le bas, j'ai tracé une chaînette sur laquelle j'ai arrangé quinze de ces boules, figure 6, de manière que leur point de contact se trouvât sur la courbe. Après plusieurs tentatives inutiles, j'imaginai de former le cintre sur lequel elle devait être arrangée afin d'arriver plus facilement à mon but. Ce cintre était composé de trois pièces qui pouvaient se retirer sans ébranler les boules dont les deux premières étaient fixes. J'arrangeais ces boules sur la dalle inclinée de 45 degrés, et après avoir ôté le cintre, j'élevais doucement cette dalle jusqu'à ce qu'elle fût à plomb; sur plus de trente fois que j'ai répété cette expérience, je suis parvenu deux fois à dresser la dalle, sans que les boules se soient dérangées; mais une suffit pour prouver cette propriété, indépendamment de la théorie.

Il semble qu'un aussi grand avantage aurait dû engager les architectes et les ingénieurs à faire usage de cette courbe pour le cintre des voûtes; mais la difficulté de la tracer, et les angles qu'elle forme avec des pieds-droits à plomb, ont fait préférer des courbes plus agréables et plus faciles à tracer. On peut cependant, en plusieurs circonstances, l'employer utilement pour les grands ouvrages où la solidité doit être préférée à l'agrément de la forme. Pour les voûtes surhaussées, dont la hauteur ne passe pas la grandeur du diamètre, la courbe de la chaî-

nette est moins désagréable que celle de la parabole ou des cintres gothiques et même de l'ellipse, surtout lorsque le pli de la naissance est caché par la saillie d'une corniche.

Cette courbe peut être employée avec avantage pour former le cintre des arcs de construction d'un très-grand diamètre, ou qui ont une grande charge à soutenir. Je m'en suis servi avec succès pour les grands arcs qui supportent la colonnade circulaire du dôme de la nouvelle église de Sainte-Geneviève, et pour la grande voûte entre les deux coupoles, qui porte l'amortissement et la lanterne : il en sera question à la cinquième Section de ce Livre.

Premier moyen de tracer la chaînette.

Il faut se procurer une chaîne de métal bien faite, dont les anneaux soient égaux et mobiles : on choisira ensuite un mur d'aplomb dont l'enduit soit bien dressé; on y tracera une ligne horizontale indéfinie, sur laquelle on marquera la largeur AB, Figure 5, Planche XXIII, que doit avoir le cintre à sa naissance; sur le milieu de AB on abaissera une perpendiculaire ou verticale, pour y marquer la hauteur du cintre de D en C : cela fait, ayant arrêté une des extrémités de la chaîne au point A, on la fera couler le long de l'autre B, jusqu'à ce que le milieu arrive au point C; la chaîne arrêtée dans cette position par deux clous placés aux points A et B, formera la chaînette qui convient à ce cas particulier. Il en sera de même pour tout autre.

Pour avoir son contour sur le mur, on marquera des points le plus exactement qu'il sera possible, ensuite on tracera la courbe avec une règle pliante raccordée avec ces points : cette courbe sera le cintre cherché, mais il aura une position renversée

Autre manière de tracer la chaînette par plusieurs points.

Comme il peut arriver qu'on n'ait pas à sa disposition une chaîne assez bien faite pour tracer cette courbe avec la précision convenable, nous allons donner une méthode facile pour trouver géométriquement autant de points qu'on voudra de cette courbe.

Connaissant la largeur AB, figure 7, et la hauteur CD que doit avoir le cintre que l'on veut former; par le point D, on tirera une perpen-

diculaire indéfinie à l'axe CD; on portera ensuite le demi-diamètre AC sur l'axe de C en E, et du point E comme centre, et EC pour rayon, on décrira une demi-circonférence de cercle qui coupera en F la perpendiculaire tirée du sommet D : la partie DF sera le paramètre de la courbe qu'on portera de D en G; par le point G on mènera une parallèle à DF, et deux autres à l'axe, des points A et B, qui rencontreront la première aux points H et I.

Du point G, comme centre, et GC pour rayon, on décrira un arc de cercle qui coupera DF prolongée en L, et on tracera la droite LG.

Du point L, comme centre, et LD pour rayon, on décrira un autre arc qui coupera LG en N : ayant porté NG de I en K, sur IB, on cherchera une moyenne proportionnelle entre IK et GD, qu'on portera de *e* en *n* sur une parallèle à l'axe tirée du milieu de GI : on cherchera ensuite une troisième proportionnelle entre les lignes *en* et DG qu'on portera de *b* en *h*, sur une parallèle à l'axe tirée du milieu de HG : la courbe qui passera par les points K, *n*, D, *h*, qui s'appelle *logarithmique*, sert à trouver les points de la chaînette.

Il est évident qu'on trouvera autant de points qu'on voudra de la logarithmique, en cherchant des moyennes et des troisièmes proportionnelles aux lignes déjà trouvées, qu'on placera parallèlement et à égale distance de l'axe.

Pour avoir les points correspondans de la chaînette, on prendra la moitié de la somme des moyennes et troisièmes proportionnelles placées à une égale distance de l'axe, telles que *en* et *bh*, qu'on portera sur les mêmes lignes de *e* en *q* et de *b* en *t*; les points *q* et *t* seront de la chaînette.

On peut facilement trouver, par le calcul, les moyennes et troisièmes proportionnelles; c'est la méthode la plus sûre; c'est celle que nous avons suivie pour tracer les cintres des grands arcs et de la coupole intermédiaire de l'église de Sainte-Geneviève, que nous avons ci-devant citée.

Pour faciliter ce calcul à ceux qui, pour une plus grande précision, voudraient l'employer pour la description de cette courbe, nous allons indiquer les opérations, en supposant qu'on connaisse le diamètre AB du cintre, et sa hauteur CD, figure 7.

Pour trouver le paramètre DF égale à DG, on observera que CP étant égal à AB, si l'on en ôte CD, on aura la valeur de DP; et comme

DF est moyenne proportionnelle entre DP et DC, on aura sa valeur en prenant la racine carrée du produit de DP par DC, c'est-à-dire qu'on aura $DF = \sqrt{DP \times DC}$.

Connaissant DF = DG, on trouvera CG = CD + DG = LG.

Le triangle LDG étant rectangle, on aura $DL = \sqrt{\overline{LG}^2 - \overline{DG}^2}$, et en ôtant DL de LG, on aura la différence NG = IK.

Pour les moyennes proportionnelles, on aura

$$en = \sqrt{IK \times DG},$$

$$of = \sqrt{en \times IK},$$

$$\text{et } dm = \sqrt{DG \times en}.$$

Pour les troisièmes proportionnelles, on aura

$$ci = \frac{\overline{DG}^2}{md}$$

$$bh = \frac{\overline{DG}^2}{en},$$

$$\text{et } ag = \frac{\overline{DG}^2}{of},$$

Ces lignes seront les ordonnées pour tracer la courbe logarithmique.

On trouvera celles pour la chaînette, par exemple,

$$au \text{ et } fr = \frac{of + ag}{2},$$

$$bt \text{ et } eq = \frac{en + bh}{2}$$

$$dp \text{ et } cs = \frac{dm + ci}{2}$$

par le moyen desquelles on décrira cette courbe.

On peut aussi les trouver géométriquement : ainsi pour avoir la moyenne proportionnelle *en*, entre IK et GD, on portera, sur une même ligne droite, chacune de ces grandeurs, l'une de G en D, et l'autre de G en K, figure 8.

Par le point G on fera passer une perpendiculaire indéfinie, et ayant divisé KD en deux parties égales au point C, de ce point, comme centre, et pour rayon CK, on décrira une demi-circonférence de cercle qui coupera la perpendiculaire tirée du point G en O; GO sera la moyenne proportionnelle cherchée qu'on portera de *e* en *n*, figure 7

Pour trouver la troisième proportionnelle *bh*, placée de l'autre côté de l'axe à égale distance, on prolongera indéfiniment la ligne GO, Fig. 8, et ayant tiré DO, on élèvera sur son milieu une perpendiculaire qui coupera OG prolongé en B : de ce point, comme centre et avec le rayon BO, on décrira une autre demi-circonférence qui coupera OGB prolongée en H ; la partie GH sera la troisième proportionnelle cherchée qu'on portera de *b* en *h*, Fig. 7. Mais si l'on observe que BH, égale à BO, représente la demi-somme des moyenne et troisième proportionnelles *en* et *bh*, on verra que BH doit être égale à *eq* ou *bt*, qui exprime la distance des points *t* et *q* de la chaînette à la ligne HI; d'où il résulte qu'on peut se passer de tracer la courbe logarithmique, en portant BH de la Fig. 8, de *e* en *q* et de *b* en *t*, Fig. 7.

Manière d'obtenir des perpendiculaires à la chaînette pour former les coupes des voussoirs.

Lorsque le diamètre des voûtes a plus de 5 à 6 mètres et que leur épaisseur n'est pas considérable, les appareilleurs se contentent de prendre sur la courbe deux points à peu de distance de celui où doit passer la perpendiculaire, et ils opèrent comme si la partie de courbe comprise entre ces deux points était un arc de cercle, ce qui ne produit pas une erreur sensible. Mais comme il peut se trouver des cas où l'on ait besoin de plus de précision, voici une méthode pour mener géométriquement des tangentes et des perpendiculaires à cette courbe.

Par un point donné, mener une tangente à la chaînette.

De quelque manière que cette courbe ait été tracée, il faudra prendre son développement depuis le point donné *u*, Fig. 7, jusqu'au sommet D, et l'étendre en ligne droite sur la perpendiculaire qui passe par l'extrémité de l'axe, de D en T : du point *u*, ayant mené une parallèle à DT, qui rencontre l'axe au point *x*, on tirera T*x*, sur le milieu de laquelle on élèvera une perpendiculaire qui coupera l'axe en V; ayant tiré TV, et par le point *u* mené une parallèle *ua* à l'axe, on fera l'angle *auy* égal à l'angle DTV; la ligne *uy* sera tangente au point *u* de la chaînette. Si de ce point on élève une perpendiculaire *uz* à cette tangente, elle le sera aussi à la courbe, et indiquera la direction du joint qui passerait par ce point.

DEUXIÈME SECTION

TRACÉ DES ÉPURES.

CHAPITRE PREMIER.

DES PROJECTIONS.

On donne ordinairement le nom d'*épure* au résultat des diverses projections à l'aide desquelles on parvient à se rendre compte dans tous les sens, en petit sur le papier, ou en grand sur une aire ou un enduit, des mesures et des formes d'une partie d'édifice. L'épure réduite au douzième ou vingt-quatrième peut quelquefois suffire pour les constructions qui ne présentent aucune complication dans leur forme ou dans leur appareil; mais à l'égard des *pièces de trait*, l'épure en grand devient indispensable. En général, tous les détails d'architecture et de construction dont la figure ne peut être facilement exprimée d'après les mesures, au moyen de la règle et de l'équerre, demandent à être tracés de grandeur naturelle.

L'usage du tracé des épures remonte, sans aucun doute, à la même époque que celui des constructions en pierre de taille. Les épures de chapitaux retrouvées dans les carrières de Gebel Abou-Fedah, dans l'Heptanomide, nous seraient encore inconnues, qu'on ne pourrait expliquer autrement que par ce moyen la parfaite exécution des ouvrages de ce genre dans tous les monumens de l'Égypte

L'art de tracer les épures est la partie la plus essentielle de la coupe des pierres; il consiste à exprimer par des lignes tout ce qui est nécessaire pour le développement des parties d'une voûte, d'un escalier, etc. Comme en stéréotomie, le tracé d'une épure comprend aussi l'étude et la disposition de l'appareil, il en résulte qu'au premier aspect on n'y découvre qu'un assemblage confus de lignes, parmi lesquelles il est difficile de reconnaître l'objet pour lequel elle a été faite; d'autant plus que souvent le plan, l'élévation et le profil de cet objet se trouvent réunis et confondus avec une multitude de lignes d'opération.

Pour bien entendre la manière de tracer géométriquement les projections ou épures de toutes sortes d'objets, il faut remarquer, 1°. que

Voyez *Description de l'Egypte*, Antiquités, tome IV, Planche 62, Figures 3, 4 et 5.

les solides ne s'aperçoivent que par leurs faces apparentes; 2°. que les surfaces qui enveloppent les corps sont de deux sortes, c'est-à-dire droites ou courbes. Les corps, à la formation desquels elles participent, peuvent être divisés en trois classes : la première comprend ceux renfermés par des surfaces droites, tels que les prismes, les pyramides, et en général les pierres de taille dont sont formées les constructions à paremens droits; la seconde, ceux renfermés par des surfaces dont les unes sont droites et les autres à courbure simple, comme les cylindres, les cônes ou partie de cônes et de cylindres, et les voussoirs dont les voûtes se composent. Dans la troisième classe se trouvent les solides renfermés par une seule ou plusieurs surfaces à double courbure, comme la sphère, les sphéroïdes et les voussoirs. qui servent à former les voûtes de ce genre.

Première classe; solides à surfaces planes.

Les surfaces planes qui terminent ces solides forment, à leur rencontre, des arêtes et des angles qui peuvent être représentés par des lignes droites.

On distingue, par rapport aux solides, trois espèces d'angles; savoir, les angles plans, les angles solides et les angles des plans. Les premiers sont formés par la rencontre des lignes qui terminent les faces d'un solide; les seconds résultent de l'assemblage de plusieurs faces dont les arêtes se réunissent en un point formant le sommet de l'angle : ainsi un angle solide est composé d'autant d'angles plans qu'il y a de faces qui se réunissent à ce point; mais il faut observer que leur nombre ne peut pas être moindre de trois.

L'angle des plans dont il sera parlé au Chapitre III est celui formé par la rencontre de deux des faces d'un solide.

Un cube renfermé par six faces carrées égales, comprend 12 arêtes en lignes droites, 24 angles plans et 8 angles solides.

Les pyramides sont des solides qui peuvent avoir pour base toutes sortes de polygones, et dont les faces sont des triangles qui s'unissent au sommet en un seul point, où ils forment un angle solide.

Les prismes peuvent, de même que les pyramides, avoir pour base toutes sortes de polygones; mais les faces qui partent de la base sont des parallélogrammes, au lieu de triangles; elles s'élèvent parallèle-

ment, de manière que ces prismes ont partout la même forme et la même grosseur.

Quoique les pyramides et les prismes soient, à la rigueur, des polyèdres, on désigne plus particulièrement sous ce nom des solides dont les faces, formant polygones en tous sens, peuvent être prises pour les bases d'autant de pyramides qui se terminent au centre.

Il faut remarquer que dans tous les solides à surfaces planes, les arêtes se terminent aux angles solides formés par plusieurs de ces surfaces qui se réunissent; d'où il résulte que pour trouver la projection des lignes droites qui doivent représenter ces arêtes, il suffit de connaître la position des angles solides où elles aboutissent, et comme un angle solide est ordinairement composé de plusieurs angles plans, un seul angle solide déterminera les extrémités de toutes les arêtes qui le forment.

Deuxième classe; solides terminés par des surfaces planes et des surfaces courbes.

Quelques-uns de ces solides, comme les cônes, ne présentent qu'une pointe et deux surfaces, dont une courbe et l'autre plate : la rencontre de ces surfaces forme une arête circulaire ou elliptique qui leur est commune. La projection d'un cône entier exige plusieurs points pour la courbure qui forme sa base; mais un seul point suffit pour déterminer son sommet. Ce solide peut être considéré comme une pyramide à base elliptique ou circulaire; alors, pour faciliter sa projection, on inscrit un polygone dans l'ellipse ou le cercle qui lui sert de base.

Si le cône est tronqué ou coupé, on peut de même inscrire des polygones dans les courbes que produisent ces coupures.

Les cylindres pouvant être considérés comme des prismes dont les bases sont formées par des cercles, des ellipses ou autres courbes; on obtient leur projection par le même moyen, c'est-à-dire, en inscrivant des polygones dans les courbes qui forment leurs bases.

Troisième classe; solides dont la surface est à double courbure

Un solide de ce genre peut être compris sous une seule surface, comme une sphère ou un sphéroïde.

Comme ces corps ne présentent ni angles ni lignes, on ne peut les

représenter que par la courbe apparente qui semble borner leur superficie. Cette courbe peut être déterminée par des tangentes parallèles à une ligne tirée du centre du solide perpendiculairement au plan de projection.

Si ces solides sont tronqués ou coupés par des plans, il faut, après avoir tracé les courbes qui les représenteraient entiers, inscrire des polygones dans chaque courbe produite par les coupures, afin d'opérer comme pour les cônes et les cylindres.

Pour se faire une idée de la projection d'un appareil composé de plusieurs pièces, comme celui d'une voûte, il faut imaginer que toutes les parties solides s'anéantissent, et qu'il ne reste plus que les arêtes formant les extrémités des faces des voussoirs. L'assemblage de lignes matérielles qui en résulterait étant exposé à la lumière du soleil, dont les rayons sont sensiblement parallèles, projetterait sur un plan perpendiculaire à ses rayons des traces, qui dessineraient toutes ces arêtes ou lignes que nous avons supposé matérielles, les unes en raccourci, et les autres de même grandeur : l'ensemble de toutes ces ombres projetées sera l'épure de la voûte. Il résulte de cette explication,

1°. Que pour avoir la projection sur un plan d'une ligne droite représentant l'arête d'une pierre ou d'un solide quelconque, il faut abaisser sur ce plan des perpendiculaires de chacune de ses extrémités.

2°. Que si cette arête est parallèle au plan de l'épure, la ligne qui représentera sa projection sera de même grandeur.

3°. Que si elle est oblique, sa projection sera plus courte.

4°. Que les perpendiculaires, au moyen desquelles se fait la projection, étant parallèles entre elles, la ligne projetée ne peut jamais être plus longue que l'arête qu'elle représente.

5°. Que pour indiquer une arête perpendiculaire au plan de projection, il ne faut qu'un point, parce qu'elle se confond avec les perpendiculaires de projection.

6°. Que la mesure de l'obliquité d'une arête sera indiquée par la différence des perpendiculaires abaissées de ses extrémités.

Dans le tracé des épures, on rapporte toutes les opérations à deux plans, dont un est horizontal ou de niveau et l'autre vertical ou d'aplomb.

Projection des lignes droites.

La projection d'une ligne AB, Figure 1, Planche XXIV, perpendiculaire à un plan horizontal, est exprimée sur ce plan par un seul point K, et par les lignes ab, $a^1 b^1$, égales à la ligne originale sur des plans verticaux, quelle que soit leur direction.

Une ligne inclinée CD, figure 2, donne sur un plan horizontal ou vertical, des projections cd, $c^1 d^1$, plus courtes que cette ligne, excepté sur un plan vertical parallèle à sa projection, sur le plan horizontal, qui donne $c^{11} d^{11}$, égal à l'originale CD.

Une ligne inclinée EF, figure 3, qui tournerait sur son extrémité E, en conservant la même inclinaison par rapport au plan sur lequel elle pose, pourrait avoir successivement pour projection tous les rayons du cercle Ef, déterminés par la perpendiculaire abaissée du point F.

Deux lignes GH, IK, figure 4, dont une est parallèle à un plan horizontal, et l'autre inclinée, peuvent avoir la même projection mn sur ce plan. Sur un plan vertical perpendiculaire à mn, la projection de la ligne GH sera un point g, et celle de la ligne inclinée IK, une verticale ki qui mesure l'inclinaison de cette ligne; enfin sur un plan vertical parallèle à mn, les projections $i^1 k^1$ et $g^1 h^1$, seront parallèles et égales aux lignes orignales.

Projection des surfaces.

Ce qui vient d'être dit par rapport aux lignes droites projetées sur des plans verticaux ou horizontaux, peut s'appliquer aux surfaces planes : ainsi la surface A, B, C, D, figure 5, parallèle à un plan horizontal, donne une projection a, b, c, d, de même grandeur et de même forme.

Une surface inclinée EFGH peut avoir la même projection que celle de niveau ABCD, quoique plus longue, si les lignes de projection, AE, BF, DH, CG, se trouvent dans la même direction.

La surface de niveau ABCD aurait pour projection sur des plans verticaux, des lignes droites ab, $b^1 c^1$, parce que cette surface se trouve dans le même plan que les lignes de projection.

La surface inclinée EFGH produit sur un des plans verticaux, une

figure raccourcie *hgef*, de cette surface ; et sur l'autre une simple ligne *fq*, qui indique le profil de son inclinaison, parce que ce plan est parallèle au côté de la surface inclinée.

Projection des lignes courbes.

Les lignes courbes n'ayant pas leurs points dans la même direction, occupent un certain espace qui fait que leur projection tient à celle des surfaces.

La projection d'une courbe sur un plan parallèle à la surface dont elle fait partie, figure 6, est semblable à cette courbe.

Si le plan de projection n'est pas parallèle, il en résulte une courbe raccourcie en raison de son obliquité avec cette surface, Figure 7.

Si cette courbe est perpendiculaire au plan de projection, il en résultera une ligne qui représentera le profil de la surface dans laquelle elle est comprise, c'est-à-dire une ligne droite si cette surface est plane, figure 8 ; et une ligne courbe si la surface est courbe, figure 9.

Pour faire la projection d'une ligne courbe ABC, figure 9, lorsque la surface dans laquelle elle est comprise est courbe et qu'elle n'est pas perpendiculaire au plan de projection, il faut inscrire un polygone dans la courbe, et abaisser de chaque angle une perpendiculaire et des parallèles à la corde qui soutend l'arc.

Mais il est bon de remarquer que cette ligne étant à double courbure, il faut de plus inscrire un polygone dans la courbure qui forme le plan *abc* de la surface dans laquelle la ligne courbe est comprise.

L'assemblage et le développement de toutes les parties qui composent les voûtes à surfaces courbes, pouvant être représentés sur un plan horizontal ou vertical, par les lignes droites ou courbes qui terminent leurs surfaces, il en résulte que si l'on a bien compris ce que nous venons de dire sur la projection de ces lignes, on pourra tracer toutes sortes d'épures, quelle que soit la situation des voûtes ou autres objets à représenter géométriquement.

Projection des solides.

Les projections d'un cube A B C D E F G H placé parallèlement entre deux plans, dont un est horizontal et l'autre vertical, sont

des carrés dont les côtés représentent les faces perpendiculaires à ces plans, Figure 10, indiquées par des lettres correspondantes.

Si l'on suppose que le même cube se meuve comme autour d'un axe, de manière que deux de ses faces opposées demeurent perpendiculaires à ces plans, comme on le voit à la Figure 11; sa projection donnera sur chacun d'eux un rectangle, dont la longueur pourra varier dans l'étendue de la différence qui existe entre le côté et la diagonale du carré. Le mouvement des arêtes opposées donnerait au contraire un rectangle dont la largeur parcourra toutes les dimensions comprises entre l'image du carré parfait, et le moment où ces deux arêtes viendront à se confondre en une seule ligne droite.

La figure 12 fait voir un cylindre élevé d'aplomb au-dessus d'un plan horizontal, avec sa projection ADBC, sur ce plan, représentée par un cercle, et sur un plan vertical par un rectangle *g*, *c*, *d*, *h*.

La figure 13 représente un cylindre incliné avec sa projection sur un plan vertical, et sur un plan horizontal.

La figure 14 représente un cube incliné sur deux sens, en sorte que la diagonale qui le traverse de l'angle B à l'angle G est d'aplomb. Cette situation donne pour projection sur le plan horizontal, un hexagone régulier *a*, *c*, *b*, *e*, *f*, *g*, et sur le plan vertical un rectangle B, *e*, *g*, *c*, dont la diagonale B*g* est d'aplomb : mais comme l'effet de la perspective change les dimensions de ce cube et de ses projections, nous les avons représentées géométralement dans la figure 15.

Les figures 16 et 17 représentent une pyramide et un cône avec leur projection sur un plan horizontal, et sur des plans verticaux.

La figure 18 indique une boule ou sphère avec ses projections sur deux plans, dont un vertical et l'autre horizontal. Il faut remarquer que la régularité et la perfection de ce solide, font que sa projection sur un plan est toujours un cercle, toutes les fois que ce plan est parallèle à la base circulaire formée par l'attouchement des tangentes.

CHAPITRE DEUXIÈME.

DÉVELOPPEMENT DES SOLIDES A SURFACES PLANES.

Nous avons dit, dans le Chapitre précédent, que les solides ne se distinguent que par leurs faces apparentes, et que dans ceux à surfaces planes, ces faces se réunissent pour former des angles solides : nous avons dit encore, qu'il fallait au moins trois angles plans pour former un angle solide; d'où il résulte que le plus simple de tous les solides est la pyramide à base triangulaire formée par quatre triangles, dont trois se réunissent pour former l'angle du sommet, Figure 1, Planche XXV.

Le développement de ce solide se fait en plaçant autour des côtés de la base les trois triangles des faces inclinées, Figure 2 : cet ensemble donne une figure composée de quatre triangles, qui sont tous semblables, pour le cas dont il s'agit.

Si l'on découpe cette figure en papier ou autre matière flexible, et qu'après l'avoir plié sur les lignes *ab*, *bc*, *ac*, qui forment le triangle de la base, on relève les trois triangles du tour jusqu'à ce qu'ils se joignent pour former l'angle du sommet, ils présenteront l'apparence d'une pyramide solide.

Développement des polyèdres réguliers.

Lorsque la surface d'un solide est formée de quatre triangles égaux et équilatéraux, c'est le plus simple des cinq polyèdres réguliers; on le distingue sous le nom de *tétraèdre*, parce qu'il a quatre faces semblables.

Les autres sont l'hexaèdre ou cube dont la surface est composée de six carrés égaux;

L'octaèdre de huit triangles équilatéraux;

Le dodécaèdre de douze pentagones,

Et l'icosaèdre de vingt triangles équilatéraux.

Ces cinq polyèdres réguliers sont représentés par les Figures 1, 3, 5, 7 et 9, et leur développement par les Figures 2, 4, 6, 8 et 10.

Les surfaces de ces développemens sont disposées de manière à pouvoir se réunir en se mouvant autour des lignes par lesquelles elles sont jointes, de manière à reproduire, en se fermant, la figure du solide dont elles font partie.

Il faut remarquer qu'il n'y a que le triangle équilatéral, le carré et

le pentagone qui puissent former des polyèdres réguliers dont tous les angles et les côtés soient égaux ; mais, en coupant régulièrement les angles solides de chacun de ces polyèdres, on peut en former d'autres symétriquement réguliers, dont les côtés seront formés de deux figures différentes. Ainsi, en coupant régulièrement les angles du tétraèdre, il en résultera un polyèdre à huit faces, composé de quatre hexagones et de quatre triangles équilatéraux. Le retranchement des angles du cube donnera six octogones réunis par huit triangles équilatéraux, et un polyèdre à quatorze faces.

La même opération faite à l'octaèdre produit aussi quatorze faces, dont huit hexagones et six carrées.

Le dodécaèdre donnera douze décagones réunis par vingt triangles, et en tout 32 côtés.

L'icosaèdre donnera aussi douze pentagones réunis par vingt hexagones et 32 côtés.

Ce dernier, dans certaine position, approche tellement de la figure ronde, qu'à quelque distance il parait sphérique et peut presque rouler comme une boule.

Développement des pyramides et des prismes.

Les autres solides à surfaces planes, dont il a déjà été question au Chapitre précédent, sont les pyramides et les prismes, qui tiennent du tétraèdre et du cube ; les premières en ce que leurs côtés au-dessus de la base sont formés par des triangles qui se rapprochent pour ne former ensemble qu'un angle solide qui est le sommet de la pyramide ; les seconds, parce que leurs faces, qui s'élèvent au-dessus de la base, sont formées par des rectangles ou parallélogrammes qui conservent toujours entre eux une même distance : mais ils en diffèrent en ce qu'ils peuvent avoir un polygone quelconque pour base, et une hauteur indéterminée.

Ces solides peuvent être réguliers ou irréguliers ; avoir leur axe perpendiculaire ou incliné, être tronqués ou coupés parallèlement ou obliquement à leur base.

Le développement d'une pyramide ou d'un prisme droit, dont la base et la hauteur sont données, ne présente aucune difficulté ; l'opération consiste à élever sur chaque côté de cette base un triangle égal à la hauteur inclinée de chaque face, si c'est une pyramide, figures 11 et 12 ; et un rectangle égal à la hauteur perpendiculaire, si c'est un prisme.

Développement d'une pyramide oblique.

Mais lorsqu'il s'agit d'une pyramide oblique, comme celle représentée par la Figure 13, où la longueur des côtés de chaque triangle, ne peut être exprimée qu'en raccourci dans une projection verticale ou horizontale; on ne pourra l'obtenir dans sa réalité que par une troisième opération, fondée sur ce principe commun à toutes les projections en général, et surtout aux épures, savoir : que *la longueur d'une ligne inclinée projetée en raccourci sur un plan, dépend de la différence de l'éloignement perpendiculaire de ces extrémités à ce plan, ce qui donne, dans tous les cas, un triangle rectangle dont les projections verticales et horizontales donnent deux côtés : si l'on tire le troisième, qui est l'hypothénuse, il exprimera la longueur réelle de la ligne en raccourci.*

Pour faire l'application de cette règle à la pyramide oblique de la Figure 13, il faut indiquer, sur le plan ou projection horizontale, Figure 14, la position du point P, répondant au sommet de la pyramide, et tirer de ce point, à la face CD qui se trouve du même côté, une perpendiculaire PG; ensuite du point P comme centre, décrire les arcs de cercle B*b*, C*c*, qui transporteront, sur PG, les projections horizontales des arêtes inclinées AP, EP, et DP; et après avoir élevé la perpendiculaire PS, égale à la hauteur du sommet P de la pyramide au-dessus du plan de projection, on tirera les lignes SA, S*b*, S*c*, qui exprimeront les longueurs réelles de toutes les arêtes de la pyramide.

On aura ensuite les triangles formant le développement de cette pyramide en décrivant du point C avec S*c*, pour rayon, un arc *ig*, et du point D, un autre arc qui croisera le premier en F : ayant tiré les lignes CF, DF, le triangle CFD, sera le développement répondant au côté DC : pour avoir celui qui répond au côté BC, on décrira des points F et C des sections avec S*b*, et B*c* pour rayon, qui se croiseront en B', et on tirera B'F et CB' : le triangle FCB' sera le développement de la face répondante au côté B*c*.

On aura le triangle FA'B' en se servant des longueurs SA et BA pour décrire les sections des points B' et F qui déterminent ce triangle correspondant à la face AB, et enfin les triangles FDE' et FE' A'' correspondans aux faces DE, AE, en se servant des longueurs S*b*, DE et SA, AE. Le développement total AEDE'A''F, A'B', CBA, étant dé-

coupé et plié selon les lignes B'FcF, CD, DF et EF, formera la pyramide inclinée représentée par la Figure 13.

Si cette pyramide est tronquée par un plan mn, parallèle à la base, on tracera sur le développement le contour qui résultera de cette section en portant Pm de F en a, et menant les lignes ab, bc, cd, de et ea'' parallèles à A'B', B'C, CD, DE', et E'A''.

Mais si le plan de la section est perpendiculaire à l'axe comme mo, on décrira du point F un arc de cercle, avec un rayon égal à Po, dans lequel on inscrira le polygone $ab''c''d'e''a''$. Le polygone $oqmq'o'$ est le plan de la section indiquée par la ligne mo.

Développement des prismes droits et obliques.

Dans un prisme droit, les faces du tour étant toutes perpendiculaires aux bases qui terminent le solide, il en résulte que leur développement est un rectangle composé de toutes ces faces jointes ensemble et renfermées entre deux lignes droites parallèles, égales au contour des bases.

Lorsqu'un prisme est incliné, les faces forment différens angles avec les lignes du contour de leurs bases, d'où il résulte un développement dont les extrémités sont terminées par des lignes formant des parties de polygones.

Pour avoir son développement, il faut commencer par tracer le profil de ce prisme parallèlement au sens de son inclinaison, Figure 16.

Après avoir tiré la ligne Cc qui représente l'axe incliné du prisme dans toute sa longueur, et les lignes AD, bd, pour figurer les surfaces qui le terminent, on décrira sur le milieu de l'axe le polygone formant le plan de ce prisme pris perpendiculairement à l'axe, et indiqué par les lettres h, i, k, l, m, n. Ayant ensuite prolongé les côtés kl, hn, parallèlement à l'axe, jusqu'à la rencontre des lignes AD, bd, elles indiqueront les quatre arêtes du prisme, correspondantes aux angles h, n, k, l; et la ligne Cc, qui se confond avec l'axe indiquera les deux arêtes i, m.

Il faut remarquer que dans ce profil, les côtés du polygone h, i, k, l, m, n, donnent la largeur des faces du tour, et les lignes Ab, Cc, Dd leur longueur. Ce profil sert à faire la projection horizontale, Figure 15, dans laquelle les polygones allongés représentent les bases du prisme.

Pour tracer ensuite le développement de ce prisme incliné, de manière qu'étant plié il puisse le représenter, il faudra par le milieu de Cc,

Figure 16, élever une perpendiculaire o, p, q, prolongée en l, l', Figure 17; sur cette ligne, on portera les largeurs des faces indiquées par le polygone h, i, k, l, m, n, de la Figure 16, en l, k, i, h, n, m, l', Fig. 17. On mènera par ces points des parallèles à l'axe, sur lesquelles on portera qD de la Fig. 16, de l en E, de k en D, et de l' en E', Fig. 17;

pC de la Figure 16, de i en C et de m en F, Figure 17;

oA de la Figure 16, de h en B, et de n en A, Figure 17, ce qui donnera le contour du développement de la partie supérieure, en tirant les lignes ED, DCB, BA, AFE', Fig. 17.

Pour avoir le contour du bas, on portera qd de la Figure 16, de l en e, de k en d et de l' en e', Figure 17;

pc de la Figure 16, de i en c et de m en f, Figure 17; enfin ob de la Figure 16, de h en b et de n en a, Figure 17, et on tirera les lignes ed, dcb, ba, et afe' qui termineront ce contour.

On achèvera le développement en faisant sur les faces BA et ba des polygones allongés, semblables à ceux ABCDEF et $abcdef$ de la Figure 15, et de même grandeur.

Développement des cylindres droits et obliques.

Les cylindres peuvent être considérés comme des prismes dont la base est formée par un polygone d'une infinité de côtés. Ainsi, on obtient graphiquement le développement d'un cylindre droit, par un rectangle de même hauteur, ayant pour dimension sur l'autre sens, la circonférence du cercle qui lui sert de base, mesurée par un nombre plus ou moins grand de parties égales.

Mais si le cylindre est oblique, Figure 1, Planche XXVI, on fera, comme il a été dit pour le prisme, le profil dans le sens de son inclinaison. Après avoir décrit sur le milieu de l'axe, le cercle ou l'ellipse qui forme sa grosseur perpendiculairement à l'axe, on divisera sa circonférence en un nombre de parties égales à partir du diamètre, par exemple en douze, et on mènera des points de division des parallèles à l'axe, HA, bi, ck, dl, em fn et GO, qui serviront à faire la projection des bases et le développement du tour.

Pour la projection des bases sur un plan horizontal, il faudra des points où les parallèles rencontrent la ligne de la base HO, abaisser des perpendiculaires indéfinies, et après avoir fait la ligne H', O', pa-

rallèle à HO, porter sur ces perpendiculaires, en dessus et en dessous de cette parallèle, la grandeur des ordonnées du cercle ou de l'ellipse tracée sur le milieu de l'axe du cylindre, c'est-à-dire, *p* 1 et *p* 10 en *i*' 1 et *i*' 10; *q* 2 et *q* 9 en k' 2 et k' 9, etc. Afin d'éviter la répétition fastidieuse des lettres et des chiffres qui indiquent les opérations, on a marqué des mêmes signes, distingués par des primes, secondes, tierces, etc., les parties qui se correspondent dans le profil, Fig. 1, le plan, Fig. 2, et le développement, Fig. 3.

Dans la Fig. 3, la ligne E'E' est le développement approché de la circonférence du cercle donné par la section DE, perpendiculaire à l'axe du cylindre, divisée en 12 parties égales, Fig. 1. Pour cela, on a porté sur cette ligne, de chaque côté du point D, six des divisions du cercle, et l'on a mené par ces points autant de parallèles indéfinies aux lignes tracées sur le cylindre, Fig. 1; ensuite, considérant le point D' comme répondant au point D, on a déterminé la longueur de ces lignes, en portant sur chacune d'elles leurs dimensions relatives, mesurées de DG en AG pour la base supérieure du cylindre, et de DE en HO pour la base inférieure.

Relativement aux surfaces elliptiques qui terminent ce solide, ce que nous avons dit aux pages 41 et 42, sur la manière de décrire cette courbe par le moyen des ordonnées, nous dispense d'entrer ici dans aucune explication à ce sujet.

Développement des cônes droits et obliques.

Les mêmes raisons qui nous ont fait comparer les cylindres aux prismes, peuvent nous faire considérer les cônes comme des pyramides.

Dans les pyramides droites, à bases régulières et symétriques, il faut remarquer que les lignes ou arêtes allant du sommet à la base sont toutes égales; et que les côtés du polygone qui leur sert de base étant aussi égaux, leur développement sera composé de triangles isocèles semblables, lesquels étant réunis, comme on le voit à la Fig. 12 de la Planche XXV, formeront une partie de polygone régulier, inscrit dans un cercle, dont les côtés inclinés seraient les rayons. Ainsi, en considérant la base du cône A'B', Figure 4, Planche XXVI, comme un polygone régulier d'une infinité de côtés, son développement deviendra un secteur de cercle A'' B'' B''' C'', Figure 6, dont le rayon est égal au côté

A' C' du cône et l'arc égal à la circonférence du cercle qui lui sert de base.

On peut tracer sur ce développement les courbes qui résulteraient du cône coupé selon les lignes DI, EF, et GH qui sont l'ellipse, la parabole et l'hyperbole. Pour cela, on divisera la circonférence de la base du cône en parties égales; de chaque point, on tirera des lignes au centre C, représentant dans ce cas-ci le sommet du cône. Ayant transporté par le moyen des parallèles à FF, les divisions de la demi-circonférence AFB du plan, sur la ligne A' B' formant la base de la projection verticale du cône, Fig. 4, aux points 1' 2' F 3' et 4', lesquels, à cause de l'uniformité de la courbure du cercle, représenteront aussi les divisions indiquées au plan par 8, 7 F', 6 et 5; on tirera du sommet C' du cône en élévation, les lignes C' 1', C' 2', C' F, C' 3', C' 4', qui couperont les plans DI, EF et GH de l'ellipse, de la parabole et de l'hyperbole: à l'aide de ces intersections il sera facile de figurer sur le plan, la première par D' p' 1' p''; la seconde par FE' F'; la troisième par H' GH''.

Pour avoir les points de la circonférence de l'ellipse sur le développement, Figure 6, on tirera des points n, o, p, q, r, de la ligne DI, Figure 4, des parallèles à la base, pour porter leur hauteur sur le côté C'B' aux points 1, 2, 3, 4 et 5. On portera ensuite C'D sur le développement en C''D''; et C'1, C'2, C'3, C'4, C'5 en dessus du point en D'', en C'' n''', C'' o''', C'' p''', C'' q''', C'' r''', et au-dessous, dans le même ordre, C'' n'''', C'' o'''', C'' p'''', C'' q'''', C'' r'''', et C I de C'' en I'' et I'''. La courbe qu'on fera passer par tous ces points, sera le développement de la circonférence de l'ellipse indiquée dans la Figure 4, par la ligne droite DI qui est son grand axe.

Pour la parabole Figure 8, on mènera sur le côté C'A' de la Fig. 4, bg et ah : ensuite on portera C'E sur le développement en C''E''; C'g de C'' en b''' et b''''; C'h de C'' en a''' et a''''; et par les points F'', a''', b''', E'', b'''', a'''', F''', on tracera une courbe qui sera le développement de cette parabole, indiquée dans la Fig. 4 par la ligne EF.

Pour l'hyperbole, après avoir mené des points m et i les parallèles me, if, on portera C'G de C'' en G'' et de C'' en G''' du développement, C'e de C'' en m''' et m'''', C'f de C'' en i''' et i'''', et après avoir porté 3 H' et 6 H'' du plan, sur la circonférence du développement de 3 en H''' et de 6 en H'''', on tracera par le moyen des points H''', i''', m''', G'' et H'''', i'''', m'''', G''' deux courbes, dont chacune sera le

développement de la moitié de l'hyperbole représentée par les lignes droites GH et H'H'' des Fig. 4 et 5, et par la Fig. 7.

Les opérations pour le développement du cône oblique indiquées par les Fig. 9, 10, 11, 12, diffèrent des précédentes, 1°. par la position du sommet C sur le plan Fig. 10, déterminée par une perpendiculaire abaissée du sommet de la Fig. 9; 2°. en ce que la ligne DI de cette Figure étant parallèle à la base, donne, en plan, un cercle au lieu d'une ellipse; 3°. en ce que, pour trouver le rallongement des lignes droites, tirées du sommet de ce cône à la circonférence de sa base divisée en parties égales, on a fait la Fig. 11 pour les rassembler, afin d'éviter la confusion, ces lignes étant toutes de grandeur différente à cause de l'obliquité du cône. Dans cette Figure, la ligne CC' indique la hauteur perpendiculaire du sommet du cône au-dessus du plan; de sorte qu'en portant de chaque côté les projections de ces lignes prises sur le plan, du point C à la circonférence, on aura CA'', C1, C2, CF'', C3, C4, CB', d'une part, et CA', C8, C7, CF, C6, C5 et CB'' de l'autre: tirant ensuite du sommet C, des lignes à tous ces points, elles donneront, dans leur grandeur réelle, les arêtes de la pyramide inscrite, dont on se servira pour faire le développement Fig. 12.

Ayant fixé un point C'' pour représenter le sommet, on tirera par ce point une ligne égale à CA'', de la Figure 11; ensuite avec une des divisions de la base prise sur le plan, telle que A 1, on tracera du point A du développement une section; prenant ensuite C 1 sur la Figure 11, on décrira du point C'' une autre section qui, en croisant la première, déterminera le point 1 du développement. On continuera à opérer de même avec la grandeur constante A 1 et les différentes longueurs C 2, CF'' C3, etc., prises sur la Fig. 11, et portées en C''2, C''F, C''3, etc., du développement, pour avoir les points nécessaires pour tracer la courbe B''AB''', représentant le contour de la base oblique du cône.

On aura le développement du cercle indiqué par la ligne DI de la Figure 9, parallèle à celle de la base AB, en tirant une autre ligne I' D D'' I'' Figure 11, à la même distance du sommet C qui coupera toutes les lignes obliques qui ont servi pour le développement précédent, et on portera d'une part CD'', C*n*, C*o*, C*p*, C*q*, C*r*, CI'', sur la Fig. 12, de C'' en D'', *n*''', *o*''', *p*''' *q*''', *r*''', et de l'autre, de C'' en *n*'''', *o*'''', *p*'''', *q*'''', *r*'''', et I'''' sur la Fig. 12; la ligne courbe qu'on fera passer par tous ces points sera le développement de ce cercle.

Pour tracer sur le développement la parabole et l'hyperbole indiquées par les lignes EF, GH de la Figure 9, on tirera des points E *b a*, G *m i*, des parallèles à la base AB, qui, portées sur la Figure 11, feront connaître sur les lignes correspondantes la distance réelle de ces points au sommet C, qu'on portera sur la Figure 12, de C'' en E'', b''', a''' et b'''' et a'''' pour la parabole; et de C'' en G'', m''', i''' d'une part, et G''', m'''', i'''' pour l'hyperbole. L'une et l'autre sont représentées par les Figures 13 et 14.

Développement des corps ou solides dont la surface est à double courbure.

Le développement de la sphère et des autres corps, dont la surface est à double courbure, serait impossible, si on ne les supposait pas composés d'un grand nombre de petites faces planes ou à courbure simple, comme le cylindre ou le cône. Ainsi, une sphère ou un sphéroïde peut être considéré, 1°. comme un polyèdre terminé par un grand nombre de faces planes, formées par des pyramides tronquées, dont la base est un polygone, comme la Figure 15.

2°. Par des parties de cônes tronqués, formant des zones comme l'indique la Figure 16.

3°. Par des parties de cylindres coupés en onglets formant côtes plates qui diminuent de largeur, indiquées par la Figure 17.

En réduisant la sphère ou le sphéroïde en polyèdre à faces plates, on peut en faire le développement de deux façons, qui ne diffèrent que par la manière dont on arrange les faces développées.

La manière la plus simple de diviser la sphère, pour la réduire en polyèdre, est celle des cercles parallèles croisés par d'autres perpendiculaires qui s'entrecoupent en deux points opposés, comme dans les globes de géographie. Si au lieu de cercle on suppose des polygones d'un même nombre de côtés, il en résultera un polyèdre semblable à celui représenté par la Figure 15, dont la moitié ADB indique l'élévation géométrale, et AEB le plan.

Pour en avoir le développement : on prolongera les côtés A 1, 1 2; 2 3, jusqu'à la rencontre de l'axe prolongé CP, pour avoir les sommets P, *q*, *r*, D des pyramides tronquées qui forment le demi-polyèdre ADB; ensuite des points P, *q*, *r*, et avec les rayons PA, P 1; *q* 1, *q* 2;

$r2$, $r3$ et D3, décrire les arcs indéfinis AB', $1b'$; $1b''$, $2f'$; $2\,f''$, $3g'$ et $3g$, sur lesquels, après avoir porté les divisions des demi-polygones AEB, $1e$ $6'''$; $2\,e'$ $5'''$ $3\,e''$ $4''$; on tirera des lignes aux sommets P, q, r, D, de tous les points portés, tels que A, $4'$, $5'$, $6'$, $7'$, $8'$, $9'$, B', pour chaque pyramide tronquée; et d'autres lignes qui formeront, dans chacun des arcs AB', $1\,b'$, $1\,b''$, etc., des polygones inscrits. Ces lignes représenteront, pour chaque bande ou zone, les faces des pyramides tronquées dont elles font partie.

On peut faire le même développement en élevant sur le milieu de chaque côté du polygone AEB des perpendiculaires indéfinies, sur lesquelles on portera la hauteur des faces de l'élévation en 1, 2, 3, d; par ces points on tirera des parallèles à la base, sur lesquelles on portera les largeurs de chacune de ces faces prises sur le plan, et on formera des trapèzes et des triangles semblables à ceux trouvés par le premier développement, mais rangés d'une autre manière. Ce dernier développement, qu'on appelle en fuseaux, est celui dont on fait usage pour les globes de géographie; l'autre est plus convenable pour les douelles des voûtes sphériques.

Le développement de la sphère réduite en zones coniques, Fig. 16, se fait par les mêmes procédés que celui réduit en pyramides tronquées; il n'en diffère qu'en ce que le développement des arêtes AB, $1\,b$, $2f$, $3g$, sont des arcs de cercle décrits des sommets des cônes, au lieu d'être des polygones.

Le développement de la sphère réduite en parties de cylindre coupées en onglet, Figure 17, se fait par la seconde manière; mais, au lieu de joindre par des lignes les points 6, h, i, k, d, Figure 15, on les réunit par une courbe. Cette dernière méthode trouvera son application pour tracer les développemens des caissons, dans les voûtes sphériques ou sphéroïdes.

CHAPITRE TROISIÈME

DES ANGLES DES PLANS, OU SURFACES QUI TERMINENT LES SOLIDES.

Par rapport à la formation des solides, on considère, comme nous l'avons déjà observé, trois espèces d'angles, savoir : les angles plans, les angles solides, et les angles des plans. Il a été question des deux premières espèces dans les articles précédens; il nous reste à parler de la troisième, qu'il ne faut pas confondre avec les angles plans. Nous avons déjà dit, en parlant de ces derniers, qu'ils étaient formés par les lignes ou arêtes qui terminent les faces d'un solide; mais les angles des plans dont il s'agit sont ceux formés par la rencontre de deux surfaces qui forment une arête.

L'inclinaison relative de deux plans ou surfaces ALDE, ALCB, qui se rencontrent, a pour mesure l'angle formé par deux perpendiculaires FG, FH, élevées sur chacun de ces plans d'un même point F de la ligne AL ou arête formée par leur réunion, Fig. 18, Planche XXV.

Il faut remarquer que cet angle est le plus grand de tous ceux formés par des lignes menées du point F sur ces deux plans; car les lignes FG, FH étant perpendiculaires à AL commune à ces deux plans, elles seront les plus courtes qu'on puisse mener du point F aux côtés ED, BC, que nous supposons parallèles à AL; ainsi leur distance GH sera partout la même, tandis que les lignes FI, FK seront d'autant plus longues, qu'elles s'éloigneront davantage des perpendiculaires FG, FH, et qu'on aura toujours KI égale à GH, et par conséquent l'angle IFK d'autant plus petit que GFH, qu'il en sera plus éloigné.

En sorte qu'après avoir plié une surface rectangulaire, perpendiculairement à l'un de ses côtés, et de manière que les contours des parties séparées par le pli tombent exactement l'un sur l'autre; si l'on releve l'une d'elles, en la faisant mouvoir autour du pli, et formant ainsi toutes sortes d'angles, on verra que chacune des extrémités latérales de la partie mobile, se trouve toujours dans un plan perpendiculaire à celles de la partie qui reste fixe.

Cette propriété des lignes qui se meuvent dans un plan perpendiculaire, fournit un moyen simple et facile pour trouver les angles des plans de toutes sortes de solides dont on connaît les projections verticales et horizontales, ou leurs développemens.

Ainsi, pour trouver les angles formés par deux des surfaces du tétraèdre ou pyramide à base triangulaire, Fig. 1, même Planche, il faudra, 1°. pour les angles de la base avec les côtés, abaisser des angles ABC des perpendiculaires aux côtés *ac*, *cb* et *ab*, qui se rencontreront au centre de la base en D. Il est évident, par ce qui vient d'être dit à ce sujet, que si l'on fait mouvoir les trois triangles, leurs angles au sommet A, B, C ne sortiront pas des plans verticaux indiqués par les lignes AD, DB, DC, et qu'ils se rencontreront à l'extrémité de la verticale passant par l'intersection de ces plans au point D; ainsi on aura pour chaque côté un triangle rectangle dont on connait deux côtés; savoir : pour le côté *cb*, l'hypothénuse *ed* et le côté *e*D; ainsi en élevant du point D une perpendiculaire indéfinie, si du point *e* avec *e*B pour rayon on fait une section qui coupe la perpendiculaire en *d*, et qu'on tire la ligne *de*; l'angle *de*D sera celui que l'on cherche et qui sera le même pour les trois côtés, si le polyèdre est régulier; mais s'il est irrégulier, on fera la même opération pour chacun.

On peut avoir ces angles avec plus d'exactitude en prenant *de* ou son égale *e*B pour sinus total, et faisant l'analogie *de* : *e*D :: sinus total : sinus 19$^{d.}$, 28$^{m.}$, dont le complément 70 degrés 32 minutes sera l'angle cherché, en supposant le polyèdre régulier. Dans ce cas, tous les côtés étant égaux et pouvant être pris pour base, donneront des angles partout égaux.

Par rapport au cube, Figures 3 et 4, dont les faces sont composées de carrés égaux et dont tous les angles sont droits, il est évident qu'elles doivent former à leur réunion des angles du même genre.

Pour avoir l'angle formé par les faces de l'octaèdre, Fig. 5, il faudra des points C et D avec une grandeur égale à la perpendiculaire AE abaissée sur la base d'un des triangles de son développement, Fig. 6, décrire des sections qui se croisent en F; l'angle CFD sera égal à celui que forment les faces de ce polyèdre qu'on trouvera, par le calcul trigonométrique, de 70 degrés 32 minutes comme le précédent.

Dans le dodécaèdre, Fig. 7, on trouvera l'angle formé par les faces, en tirant sur sa projection la ligne DA, et prolongeant le côté B en E, déterminé par une section faite du point D avec un rayon égal à BA, qui donnera l'angle cherché EDF de 108 degrés.

Pour l'icosaèdre, Fig. 9, on tirera les parallèles A*a*, B*b*, et C*c*, et après avoir fait *bc* parallèle et égale à BC, avec un rayon égal à cette ligne,

on fera une section qui coupera la parallèle tirée du point A en *a*; l'angle *abc* sera égal à celui formé par les côtés du polygone, que le calcul trigonométrique donne de 108 degrés comme dans le dodécaèdre.

Pour la pyramide à base carrée, Figure 11, l'angle de chaque face avec la base est égal à PAB ou PBA, parce que cette Figure, qui représente sa projection verticale, est dans un plan parallèle à celui où se trouvent les perpendiculaires abaissées du sommet sur les faces latérales de la base.

Pour avoir les angles que forment entre elles les faces inclinées, on tirera sur son développement, Fig. 12, la ligne ED, laquelle, à cause des triangles isocèles égaux PEC, PCD, se trouvera perpendiculaire à la ligne PC représentant l'une des arêtes qu'ils forment en se réunissant. Ensuite du point D, avec un rayon égal à DF, on décrira un arc qu'on recroisera en décrivant du point C un autre arc avec un rayon égal à la diagonale AD du carré représentant le carré de la base, l'angle FDG sera l'angle cherché; on le suppose pris selon la ligne BC tracée sur la Fig. 11.

Pour avoir les angles que forment les faces de la pyramide oblique, Fig. 13, on mènera par un point quelconque *q* de l'axe, une perpendiculaire *mo*, qui indique la base *o*, *q*, *m*, *q'*, *o'*, d'une pyramide droite *mpo*, dont le développement est exprimé sur la Fig. 14, par la portion de polygone *a*, *b''*, *c''*, *d''*, *e''*, *a'*, F.

Au moyen de cette base et de cette partie de développement, en opérant, comme nous l'avons expliqué pour la pyramide représentée par la Fig. 11, on trouvera les angles formés par la rencontre des faces qui différeront très-peu de ceux du petit polygone *oqmq'o'*.

Quant aux angles formés par les faces inclinées avec la base, celui de la face répondant au côté D*c* de la base est exprimé par l'angle ADP de la projection verticale, Fig. 13.

Pour les autres faces, par exemple, celle qui répond au côté AE de la base, Fig. 14, on lui mènera, par un point quelconque *g*, une perpendiculaire *gf* jusqu'à la rencontre de la ligne AF indiquant la projection d'un des côtés de la face inclinée; sur le développement de cette face, exprimé en A''E'F, on élèvera, à une même distance du point E', une autre perpendiculaire *g'm'*, qui donnera le rallongement de la ligne indiquée sur la base par A*f*; si l'on porte A''*m'* du développement sur

Am, qui exprime l'inclinaison de l'arête représentée par cette ligne, on aura la hauteur perpendiculaire mf du point $m^{\prime}$ au-dessus de la base qu'on portera en $fm^{\prime\prime}$ sur une perpendiculaire à gf; ainsi on connaîtra les deux côtés d'un triangle dont l'hypothénuse $gm^{\prime\prime}$ donnera l'angle $m^{\prime\prime}, g, f$ qu'il s'agissait de trouver.

Dans le prisme oblique, Fig. 16, les angles des faces du tour sont indiqués par le plan de la section perpendiculaire à l'axe, représenté par le polygone h, i, k, l, m, n.

Ceux des côtés perpendiculaires au plan de l'inclinaison de l'axe sont exprimés par les angles Ddb, Abd du profil Fig. 16.

Pour avoir les angles formés avec les autres côtés, par exemple CcDd et CcAb, on tirera les perpendiculaires cs bt dont les projections en plan sont indiquées par $s^{\prime\prime}$ $c^{\prime}$ et $b^{\prime}t^{\prime}$; ensuite sur fc, tirée à part, on élèvera une perpendiculaire $c^{\prime\prime}c^{\prime\prime\prime}$ égale à cs du profil Figure 16; par le point $c^{\prime\prime\prime}$ on mènera une parallèle à fc sur laquelle ayant porté $c^{\prime}s^{\prime}$ de la projection en plan, Figure 15, on tirera l'hypothénuse $s^{\prime\prime}c^{\prime\prime}$ qui donnera l'angle $s^{\prime\prime}c^{\prime\prime}f$ que forme la face CcDd avec la base inférieure.

Pour l'angle de la face Cc Ab, on élèvera sur F$b^{\prime\prime}$, tirée à part, une perpendiculaire $b^{\prime\prime}t^{\prime\prime\prime}$ égale à bt Figure 16, et après avoir tiré, comme ci-devant, une parallèle à F$b^{\prime\prime}$ par le point $t^{\prime\prime\prime}$, on portera $b^{\prime}t^{\prime}$ de la Figure 15 en $t^{\prime\prime\prime}t^{\prime\prime}$, et on tirera $t^{\prime\prime}b^{\prime\prime}$ qui donnera l'angle $t^{\prime\prime}b^{\prime\prime}$ F que l'on cherche.

Comme les bases de ce prisme sont parallèles, ces faces forment les mêmes angles avec la base supérieure.

La connaissance des angles des plans est d'une grande utilité dans la coupe des pierres. L'on conseille à ceux qui veulent faire de rapides progrès dans cette partie essentielle de l'art de bâtir, de s'étudier à trouver les angles et les développemens de quelques corps irréguliers d'une certaine grandeur, et s'ils sont instruits dans les mathématiques, d'y appliquer le calcul trigonométrique. Il ne s'agit pour cela que de trouver la projection et le profil d'une section perpendiculaire à deux plans qui se réunissent.

TROISIÈME SECTION.

CONSTRUCTION ET APPAREIL DES VOUTES PLATES.

Notions préliminaires sur l'appareil et la construction des voûtes

Les voûtes sont des constructions en pierres que l'art a imaginées pour suppléer aux planchers et aux couvertures en bois, afin de rendre les édifices plus durables et les mettre à l'abri des incendies. La construction des voûtes est la partie la plus difficile de l'art de bâtir. Il paraît que ces constructions n'ont été en usage que long-temps après qu'on a su tailler les pierres, pour faire des murs, des pieds-droits et même des colonnes.

Par le mot *voûte* on entend une construction composée de plusieurs pierres de taille, moellons, briques ou autres matières façonnées, disposées ou réunies de manière à se soutenir pour couvrir un espace : ainsi les plafonds formés de grandes pierres qui portent sur des murs ou points d'appui opposés, comme ceux dont il sera question dans le Chapitre qui va suivre, ne sont pas des voûtes, parce qu'ils sont d'une seule pièce, et qu'ils n'exigent aucun art pour se soutenir; il suffit pour cela d'avoir des pierres assez grandes, et qui aient assez de consistance pour n'être pas susceptibles de se rompre dans leur étendue.

On peut couvrir avec des pierres d'une grandeur moindre que l'espace compris entre les murs ou pieds-droits, en leur donnant une disposition particulière : ainsi deux pierres inclinées en sens contraire, comme celles de la Fig. 3, Planche XXVII, se soutiendront mutuellement sans appuis dans le milieu, si la résistance des pieds-droits est assez forte pour les empêcher de s'écarter [1].

L'expérience prouve que moins l'angle est élevé par rapport à sa base, plus cet effort est grand, à pesanteur égale; en sorte qu'il serait

[1] Les Egyptiens ont plusieurs fois employé cette disposition pour former la couverture des chambres sépulcrales pratiquées dans la masse de la plupart de leurs tombeaux, ainsi qu'on le voit à la chambre inférieure de la grande pyramide : comme aussi pour servir de décharge aux pierres formant linteaux sur les ouvertures percées dans les massifs. On en voit un exemple à l'entrée du même monument

le plus grand possible pour deux pierres horizontales, Figure 1, qui ne feraient que se toucher au milieu du vide qu'elles couvrent.

Il faut cependant observer que cet effort peut être diminué par la grandeur de la partie de ces pierres portante sur les murs ou pieds-droits, ou par la charge qu'on peut y ajouter; car il est évident que si la portée de ces pierres était égale à leur partie en saillie, chacune se soutiendrait en équilibre sur son pied-droit, sans le secours d'aucun autre effort. Le même effet peut arriver, quoique la portée soit beaucoup moindre que la partie en saillie, pourvu que cette portée, jointe au poids dont elle peut être chargée, soit égale à l'effort de la partie en saillie.

Si, au lieu de deux pierres horizontales, on en suppose plusieurs, on pourra couvrir un vide considérable, comme on le voit à la Figure 2, avec des pierres en saillie qui auraient l'avantage de se soutenir sans poussée; mais elles ne présentent pas une forme qui puisse être adoptée, à cause des redans que forment les pierres : si on supprime ces redans pour faire des surfaces plates ou courbes, comme on le voit indiqué par des lignes ponctuées, il en résulte des angles aigus qui n'ont pas de solidité. Ce genre de construction ne saurait être pratiqué que pour des ouvrages de peu d'importance où l'on voudrait affecter la plus grande simplicité, comme je l'ai vu employé pour un tombeau antique, formant tout autour, à l'intérieur, quatre rangs de saillies d'environ 15 pouces, et terminé au milieu par un plafond carré de 5 pieds; en sorte que les murs ont 15 pieds sur tous sens [1].

Si, au lieu de pierres posées de plat, on forme un polygone, comme l'indique la Fig. 4, en disposant les joints de manière à former des angles égaux, cette forme, moins désagréable que la précédente, est peut-être le premier pas qui ait été fait pour parvenir à la construction des voûtes.

On peut s'apercevoir, en effet, qu'en combinant le poids de la partie

[1] A *Val di Noto*, en Sicile, on voit une citerne antique couverte en pierre, par un procédé à peu près semblable. On en trouve la figure dans l'ouvrage ayant pour titre : *Views of the Ottoman dominions in Europa, in Asia, and the Mediterranean Islands*, publié à Londres en 1810.

M. W. Gell, architecte anglais, dans son *Itinerary of Grece*, publié à Londres en 1810, donne le dessin d'un monument souterrain qu'on croit avoir été le trésor d'Atrée, et qui consiste en une voûte surhaussée, formée par une trentaine de fortes assises en pierres de taille, posées horizontalement, en saillie les unes sur les autres, sur un plan circulaire; et suivant en hauteur le profil d'un cintre ogif, selon lequel toutes les saillies sont effacées. Cette espèce de grotte a 47 pieds de diamètre.

On sait que la galerie inclinée qui conduit à la chambre supérieure de la grande

du milieu BC, de manière à contre-balancer l'action des parties inférieures AB et CD, qui ont besoin d'être soutenues par un effort contraire, il doit en résulter une combinaison telle que les parties se soutiendront mutuellement. Mais cette forme, que j'ai vue aussi employée dans les constructions antiques, ne présente pas encore l'uniformité et la régularité qu'on aime à voir dans ces sortes de constructions, et qui contribuent, plus qu'on ne pense, à leur solidité, ainsi que nous le ferons voir dans la suite. On chercha à effacer les angles des faces de ces polygones par une ligne courbe : celle dont on fit d'abord usage fut probablement la ligne circulaire, comme étant la plus simple et la plus facile à imiter. D'ailleurs, on était déjà parvenu non-seulement à les tracer, mais, de plus, à exécuter les surfaces en rond et en creux, selon cette courbe, en une seule et en plusieurs pièces, pour former des colonnes, des puits et des tours pour la défense des villes, dont l'usage paraît avoir précédé la construction des voûtes.

Il ne s'agissait, pour former des voûtes, que de placer verticalement les pierres posées horizontalement pour la construction des tours et des puits; mais ce passage si simple ne fut peut-être pas aussitôt franchi qu'on le pense, parce que, dans le premier cas, les pierres sont soutenues sur leurs lits dans toute leur étendue, tandis que dans une voûte dont le cintre est un demi-cercle, Fig. 5, il ne paraît y avoir que les deux premières qui posent : toutes les autres ne peuvent se soutenir que par leurs joints, en vertu de leur forme de coin. Ces joints, qui sont plus ou moins obliques, doivent former, avec la surface courbe de la voûte, des angles égaux et droits, afin de procurer à chaque pierre une résistance égale, et de plus, une espèce de renvoi régulier des efforts d'une pierre à l'autre, depuis celle qui forme la clef jusqu'à celles qui portent sur les pieds-droits.

Les voûtes en pierre de taille, exécutées par les anciens, sont presque toutes en plein cintre, et pour la plupart d'égale épaisseur, c'est-

pyramide d'Égypte, offre la même disposition dans la construction de ses murs latéraux. L'absence de toute précaution analogue dans le plafond de cette dernière chambre nous avait conduits à supposer, avant de connaître les travaux des artistes de la Commission d'Égypte, qu'il pouvait exister au-dessus des pierres qui en forment le ciel, un vide quelconque entre elle et la masse du monument. Cette conjecture se trouve en partie réalisée ; mais au lieu des encorbellemens que nous avions indiqués dans notre figure, on n'a rencontré qu'un second plafond, comme on le voit par les Figures 5 et 6 de la Planche XXVIII.

à-dire, comprises entre deux circonférences de cercle concentriques comme celles représentées par les Fig. 5 et 6.

L'expérience et les principes de mathématiques, dont on fait connaître l'application au Livre neuvième, prouvent, 1° qu'une voûte en plein cintre, d'égale épaisseur dans toute son étendue, comme celle représentée par la Fig. 6 de la Planche XXVII, composée de quatre voussoirs désunis, ne peut pas se soutenir, quelle que soit la résistance des pieds-droits, si son épaisseur est moindre de la dix-septième partie de son diamètre.

2°. Que dans celles divisées en nombres impairs et inégalement, plus la clef est grande, moins elles ont de poussée [1]; en sorte que le cas de la plus grande poussée est lorsqu'il se trouve un joint au milieu au lieu de clef, comme dans les voûtes divisées en nombres pairs.

3°. Que toutes les fois que dans l'épaisseur d'une demi-voûte extradossée d'égale épaisseur, on peut tirer une ligne droite AB de son point d'appui extérieur au milieu de l'extrados de la clef, Fig. 5, il ne se fait pas de fraction dans le milieu des reins, si les pieds-droits ont la même épaisseur que la voute par le bas.

4°. Que lorsque l'épaisseur d'une voûte va en augmentant, comme dans la Figure 8, celle au droit de la clef peut être cinq fois moindre, c'est-à-dire qu'elle peut n'avoir que la quatre-vingtième partie du diamètre [2].

5°. Que la poussée n'augmente pas en raison de l'épaisseur des voûtes; en sorte qu'à condition égale d'ailleurs, une voûte qui a le double d'épaisseur n'a pas le double de poussée.

6°. Que les voûtes surhaussées poussent moins que celles en plein cintre de même diamètre, de même forme d'extrados et divisées de même : en sorte que les voûtes en berceaux circulaires tiennent le milieu entre des voûtes qui n'auraient point de poussée, et les voûtes

[1] Cette condition, que l'expérience et les principes semblaient seuls pouvoir faire connaître, le goût l'avait sans doute conseillée à Serlio, qui l'observe fidèlement dans les différentes figures qu'il donne d'arcs et de portes, où l'appareil joue le plus grand rôle. (*Voyez libro quarto et libro estraordinario de son Architecture.*)

[2] La voûte du portail de l'église de Ste Geneviève, Pl.CLI, fig. 2. qui a 58 pieds de diamètre, n'a que 8 pouces d'épaisseur au milieu de la clef, c'est-à-dire, la quatre-vingt-dixième partie du diamètre ; mais elle a le double à l'endroit où elle se détache du nu intérieur des pieds-droits. Le cintre de cette voûte est elliptique et surbaissé de plus d'un tiers, la hauteur du cintre, dans le milieu, n'étant que de 18 pieds 1 pouce 4 lignes.

plates dont la poussée serait infinie, si les pierres dont elles sont formées pouvaient glisser librement les unes sur les autres; et si les joints étaient perpendiculaires à leur surface inférieure comme dans les autres voûtes.

Les surfaces des voûtes plates sont toutes semblables; mais celles qui sont courbes peuvent varier à l'infini, en raison de leur cintre et de la manière dont il est censé se mouvoir pour former leur surface : car ce cintre peut se continuer selon une ligne droite ou selon une ligne courbe, ou tourner sur son axe. Ainsi une demi-circonférence de cercle qui se meut entre deux lignes parallèles, produit une surface courbe dans le sens de la largeur, et droite dans celui de la longueur. Cette surface, qui représente celle d'une voûte entre deux murs parallèles, est appelée *voûte cylindrique* ou *en berceau*. Si cette demi-circonférence, au lieu de se mouvoir entre deux lignes droites, se mouvait entre deux courbes équidistantes, ou autour de son axe, il en résulterait, dans les deux cas, une surface courbe sur tous les sens.

Il est évident qu'à la place d'une demi-circonférence de cercle on peut prendre une courbe quelconque qui puisse se raccorder avec des pieds-droits à plomb, telle qu'une ellipse ou imitation d'ellipse, Planche XXVII, Fig. 9 à 14.

Cette courbe, ainsi que nous l'avons dit ci-devant, page 60, peut former une voûte surhaussée ou surbaissée, c'est-à-dire dont la hauteur du cintre soit plus grande ou plus petite que la moitié de sa largeur; l'espèce de voûte formée par une demi-circonférence de cercle comparée à celles formées par une demi-ellipse, est appelée *plein cintre*.

Lorsque les pieds-droits qui doivent soutenir les voûtes ne sont pas d'aplomb, ou quand il n'y a pas d'inconvénient à ce que le cintre de la voûte fasse un angle avec les pieds-droits, on peut y employer, outre le cercle et l'ellipse, une infinité d'autres courbes, telles que la parabole, l'hyperbole, la chaînette; mais, quelle que soit la courbe que l'on adopte, il faut toujours, ainsi que nous l'avons enseigné en parlant des courbes, page 61 et suivantes, que les joints des pierrres soient perpendiculaires à la courbure du cintre; dans les voûtes à surface courbe, ces pierres se nomment *voussoirs*.

La direction de ces voûtes peut être perpendiculaire ou oblique aux murs ou pieds-droits; elles peuvent avoir leurs naissances de niveau ou

inclinées : ce qui produit dans les voûtes simples beaucoup de variétés : de plus, elles peuvent être irrégulières, incomplètes ou composées de différentes parties combinées d'une infinité de manières, susceptibles de plus ou moins de difficultés. Il serait impossible de rapporter toutes ces variétés; mais on expliquera les principes sur lesquels sont fondés toutes les opérations et développemens qui peuvent résulter de tous les cas possibles.

Les différentes espèces de voûtes à surfaces courbes peuvent se réduire à trois principales, qui sont les voûtes cylindriques ou en berceau, les voûtes coniques et les voûtes sphériques, sphéroïdes ou conoïdes.

La surface des deux premières espèces de voûtes peut être supposée formée par des lignes droites, allant d'une courbe à une autre, ou d'un point à une courbe.

Mais la troisième ne peut être formée que par des courbes de même genre, posées les unes sur les autres, et diminuant dans un rapport déterminé selon d'autres courbes qui se croisent à l'axe; ou bien par une courbe quelconque qui, en se mouvant autour de son axe, formerait une surface composée d'autant de cercles que la courbe aurait de points.

Dans les voûtes en berceaux, supportées par deux murs opposés, les rangs de voussoirs doivent toujours être parallèles à l'axe, Fig. 1 et 2, Planche XXXII, quelle que soit la courbure du cintre et la situation de la voûte. Ainsi les berceaux obliques ou inclinés doivent avoir leurs rangs de voussoirs situés dans la même direction.

Dans les voûtes coniques, les rangs doivent se diriger à la pointe du cône, soit qu'elles fassent partie d'un cône entier, ou d'un cône tronqué. On observe, dans le premier cas, pour éviter la trop grande maigreur des voussoirs, de former la pointe ou trompillon par une seule pierre marquée *a*, Fig. 3 et 4.

Lorsqu'une voûte conique a une grandeur capable de rendre les voussoirs inférieurs trop minces, en approchant de l'angle, il est à propos de partager sa longueur en plusieurs parties, en sorte que si la grande circonférence est divisée en huit voussoirs, Fig. 5, et que la longueur de la voûte soit partagée en quatre parties depuis le devant jusqu'à l'angle de la naissance, la seconde partie pourra être divisée en cinq voussoirs, la troisième en trois, et la quatrième formant le trompillon d'une seule pièce.

Il faut que ces tranches soient comprises entre des surfaces perpendiculaires à celle du cône, et que le premier rachète toute l'irrégularité, s'il s'en trouve sur la face apparente.

Il faut remarquer que cette disposition qui serait vicieuse pour une voûte cylindrique horizontale, n'offre pas le même défaut pour une voûte conique, à cause de l'obliquité de sa surface, qui fait que chaque tranche, étant posée sur un plan incliné, se trouve en partie soutenue par ce plan et ne peut jamais s'en désunir.

Il résulte de la définition que nous avons donnée des voûtes de la troisième espèce, qui est la plus analogue à leur construction, qu'elles doivent être composées de rangs horizontaux formant des couronnes concentriques posées les unes au-dessus des autres, comme on le voit dans les Fig. 7, 8, 9, et 10. Les rangs de voussoirs formant, en plan, des carrés inscrits, indiqués dans les Fig. 11 et 12, et ceux composés de triangles équilatéraux, de pentagones ou d'hexagones qui se trouvent dans quelques-uns des auteurs qui ont traité de la coupe des pierres, présentent plus de difficultés que de solidité. D'ailleurs, cette disposition ne produit pas une liaison aussi solide que les voussoirs disposés par rangs horizontaux.

Ce qu'on a dit des voûtes sphériques, ou sphéroïdes entières, doit s'appliquer aux parties des mêmes voûtes inscrites dans des carrés, Fig. 13, 14, ou dans des polygones quelconques.

Quant aux voûtes composées, formées de la réunion de plusieurs parties de voûtes simples, il faut que les rangs de voussoirs soient disposés dans chacune, comme ils le seraient dans les voûtes dont ils proviennent. Ainsi dans les voûtes d'arêtes, Fig. 15, 16, 17 et 18, et celles d'arcs de cloître, Fig. 19, 20, 21 et 22, composées de parties de voûtes cylindriques dont les axes se croisent au centre, les rangs de voussoirs doivent être parallèles à ces axes.

Il faut remarquer que les voûtes d'arêtes et d'arc de cloître, Fig. 15, 17, 19 et 21, sont composées de parties triangulaires marquées A, B, C, sur les plans de projection, Fig. 16, 18, 20 et 22; que ces parties n'ont pour appuis, dans les voûtes d'arêtes, que les angles A, B; tandis que dans les voûtes en arc de cloître, ces parties sont soutenues sur leur côté A, B, qui porte sur le mur dans toute sa longueur; d'où il suit que ces dernières sont plus solides, et ont beaucoup moins de poussée que les voûtes d'arête. Il est encore essentiel de remarquer que les lignes

qui représentent les rangs de voussoirs forment des angles saillans DEF, Fig. 16 et 18, dans les voûtes d'arête, et des angles rentrans HIK, Fig. 20 et 22, dans les voûtes en arc de cloître.

Lorsque le plan d'une voûte d'arête est un polygone de plus de quatre côtés, les angles que les rangs de voussoirs forment à leur rencontre deviennent plus aigus, en raison du nombre de côtés de ce polygone : ainsi, dans la voûte représentée par les Figures 17 et 18, dont le plan est un hexagone régulier, les angles des rangs de voussoirs, tels que DEF, ne sont que de 60 degrés, tandis que dans la voûte de même genre, représentée par les Figures 15 et 16, ces angles sont droits ou de 90 degrés.

Les coupes qui se rencontrent au droit de ces angles rendent les arêtes des joints encore plus aiguës, d'où il résulte que les voûtes d'arête sur un plan polygonal ont d'autant moins de solidité, que le nombre des côtés est plus grand.

Les architectes goths, qui n'employaient que des voûtes d'arêtes, évitaient la difficulté dans les parties de plan à pans ou circulaires, appelées *ronds-points*, et même dans les travées ordinaires, en plaçant des arcs ogifs saillans et profilés qui s'appareillaient comme des arcs simples; le surplus, formant lunette ou pendantif, n'était qu'un remplissage en petites pierres, sans coupes, appelées *pendants* et quelquefois en plâtre pigeonné, comme à Notre-Dame de Paris.

Dans les voûtes en arc de cloître, les angles rentrans formés par la rencontre des faces, au lieu de diminuer, deviennent d'autant plus ouverts que le polygone a plus de côtés; ainsi l'angle pour l'hexagone, qui est de 60 degrés dans la voûte d'arête, est de 120 degrés dans la voûte en arc de cloître, ce qui rend ces dernières d'autant plus solides qu'elles ont plus de côtés; en sorte qu'à cintre et à diamètre égaux, les voûtes sphériques, qui peuvent être considérées comme des voûtes d'arcs de cloître d'un nombre infini de côtés, sont les plus solides, et celles qui poussent le moins, comme on le prouvera dans le neuvième Livre.

Plusieurs géomètres qui se sont occupés de la manière dont les voussoirs agissent pour se soutenir mutuellement, ont démontré qu'en supposant que rien ne s'oppose à leur action, il faudrait pour qu'une voûte se soutienne, que les poids des voussoirs fussent entre eux comme la différence des tangentes des angles formés par leurs joints; cette condi-

tion fournit un moyen facile de procurer aux voûtes la plus grande solidité.

Il faut d'abord remarquer qu'en continuant les pieds-droits jusqu'à la hauteur où l'épaisseur de la voûte se dégage de l'aplomb du nu intérieur, comme aux Fig. 7, 8, 9, 10 et 11, Planche XXVII, les parties inférieures peuvent être considérées comme faisant partie des pieds-droits, et que les pierres qui les composent n'ont besoin de porter de coupe que depuis l'aplomb du nu intérieur. Ainsi il ne reste à déterminer que l'épaisseur, ou plutôt la forme de l'extrados de la partie de voûte comprise entre les deux précédentes.

Si le cintre de la voûte est circulaire, comme dans la Fig. 8, tous les joints prolongés se rencontreront au centre O; d'où il résulte, qu'en portant horizontalement entre le prolongement des joints de la clef, l'épaisseur que l'on se propose de donner au milieu de cette voûte, cette ligne prolongée en GL, donnera par ses intersections avec les autres rayons, l'épaisseur du milieu des autres voussoirs, selon la différence des tangentes.

Si le cintre est composé de deux arcs de cercle formant un angle au sommet, comme les voûtes gothiques, Fig. 10, après avoir prolongé au centre O, les joints des voussoirs de l'arc *b*Q, et le rayon *b*O; on portera horizontalement, dans l'intervalle de ce rayon et du joint de la clef, la moitié de l'épaisseur que l'on veut donner au milieu de chaque partie de cette clef : formant ensuite de cette ligne l'horizontale GL, on aura sur les autres rayons les différences des tangentes, et les épaisseurs au milieu de chacun des voussoirs suivans.

Si le cintre est formé d'une autre courbe que le cercle, telle que l'ellipse, Fig. 9, après avoir mené l'horizontale GL et la verticale LD, on portera la moitié de l'épaisseur de la clef, de L en 1, et on tirera, par ce point, la droite 1 D, qui fasse, avec la ligne du milieu, l'angle 1DL égal à l'angle *b*O*s*, c'est-à-dire, qu'on fera 1 D parallèle à *b*O.

On mènera ensuite du point D les lignes 2D, 3D, 4D, etc., parallèles aux joints *c*, *d*, *e*, *f*, etc.[1], et, après avoir divisé chaque voussoir en deux parties égales, on portera 1, 2 de *h* en 7; 2, 3 de *k* en 8; 3, 4 de *l* en 9; 4, 5 de *m* en 10; et le double de 1, L, de *s* en *a* : enfin par les

[1] Pour la manière d'obtenir les joints perpendiculaires à chaque courbe, voyez ci-dessus, pour l'ellipse, page 45, et les suivantes pour les autres courbes dont il va être question.

points *a*, 7, 8, 9, 10, on tracera la courbe d'extrados, qui donnera des voussoirs dont les poids étant entre eux comme les différences des tangentes, formeront des voûtes très-solides, qui n'auront presque pas de poussée.

Pour les voûtes circulaires et elliptiques, Fig. 8, 9, 10 et 11, on peut tracer la courbe d'extrados d'une manière plus simple, qui produit, à très-peu de chose près, le même effet.

Ainsi, pour la Fig. 9, après avoir fixé l'épaisseur *sa* du milieu de la clef, on portera la moitié du rayon O*s* de O en M; du point M, comme centre, on décrira l'arc H*a*N, jusqu'à la rencontre des lignes intérieures des pieds-droits, prolongées en CH et FN. Cette courbe d'extrados, qui diffère peu de celle tracée par les tangentes, est plus que suffisante dans la pratique ordinaire.

Si la voûte est surhaussée, comme la Fig. 11, et que la courbe soit une imitation d'ellipse formée par des arcs de cercle, après avoir fixé l'épaisseur *sa*, on portera la moitié du rayon O*s* de O en F; ensuite du centre F, on décrira l'arc P*ar*, jusqu'à la rencontre de l'aplomb des pieds-droits prolongés : cet arc formera la courbe d'extrados.

Pour une voûte surbaissée, Fig. 5, on portera la moitié du rayon *s*O de O en M; et de ce point M, avec M*a* pour rayon, on décrira l'arc H*a*N jusqu'à la rencontre de l'aplomb intérieur des pieds-droits : cet arc sera l'extrados.

Par rapport à la Fig. 10, représentant un arc gothique composé de deux arcs de cercle qui forment un angle au sommet, on portera la moitié du rayon O*s* de O en P, et avec P*a* pour rayon, on décrira l'arc *a*N qui formera l'extrados.

Par rapport aux Fig. 12 et 14, il est essentiel d'observer que dans la première qui représente une voûte dont le cintre est la chainette, les différences des tangentes, Fig. 13, étant toutes égales, donnent pour l'extrados une courbe parallèle et une même épaisseur de voute partout. C'est une des propriétés qui prouvent l'avantage de cette courbe pour les voutes, en ce qu'elle permet, lorsqu'on en fait usage, de leur donner beaucoup moins d'épaisseur.

La Fig. 14, dont la courbe est une parabole, présente un effet contraire; ainsi, pour mettre en équilibre entre eux les voussoirs qui forment une voute de ce genre, il faut que l'épaisseur de la voûte soit plus forte au sommet que par le bas.

On peut, pour une plus grande précision, se servir des tables des sinus et des tangentes, pour tracer les courbes d'extrados : ce moyen n'a besoin que d'être indiqué à ceux qui connaissent la trigonométrie[1].

Les voûtes en pierre de taille, considérées indépendamment du mortier ou autres moyens que l'on peut employer pour lier les voussoirs dont elles sont formées, ont besoin, pour se soutenir, d'une certaine épaisseur qui doit être proportionnée à leur diamètre, à la forme de leur cintre, et aux efforts qu'elles peuvent avoir à soutenir : ainsi un arche de pont doit avoir, à diamètre égal, plus d'épaisseur qu'une voûte destinée à former le sol des différens étages d'un édifice; cette dernière doit être plus forte qu'une voûte qui n'a rien à supporter, comme les voûtes d'église; enfin, parmi ces dernières, celles qui sont à couvert sous des toits de charpente, n'ont pas besoin de tant d'épaisseur que celles qui doivent en même temps former la pente de la couverture.

Si l'on consulte les constructions antiques et modernes, on trouve que, pour les arches de pont de 20 à 24 mètres, ou 10 à 12 toises de largeur, la moindre épaisseur est plus de la quinzième partie du diamètre, en pierre moyennement dure.

Dans quelques ponts modernes dont le diamètre est de 20 toises, l'épaisseur au milieu de la clef n'est que d'une toise. Mais considérant, d'autre part, qu'une arche de pont de 8 mètres, ou 4 toises de diamètre, ne saurait avoir moins de 66 centimètres, ou 2 pieds d'épaisseur à la clef, c'est-à-dire moins de la douzième partie du diamètre, j'ai pensé que je pouvais me servir de ces deux termes pour former une progression qui indique l'épaisseur à la clef de ces espèces de voûtes de mètre en mètre; c'est ce que j'ai exprimé dans la table suivante : j'y ai ajouté celle pour des voûtes moyennes formant planchers, et celle pour des voûtes légères qui n'ont rien à supporter.

[1] Les applications de la différence des tangentes aux voûtes dont il vient d'être question, font voir : 1°. que les voûtes surbaissées et celles en plein cintre sont les plus propres à être extradossées de niveau pour former le sol des différens étages des édifices; 2°. que dans les voûtes extradossées de cette manière, les voussoirs inférieurs étant plus renforcés que par la courbe d'extrados selon la différence des tangentes, elles sont capables de soutenir une certaine charge, et de former des arches de pont; 3°. que les voûtes gothiques sont les plus convenables pour former les toits à double pente; 4°. qu'on pourrait, en certaines circonstances, employer avec avantage les voûtes paraboliques, lorsqu'il s'agit de soutenir de très-grands fardeaux.

TABLE de la moindre épaisseur des voûtes circulaires ou elliptiques, prise au milieu de la clef[1].

ARCHES DE PONT.		VOUTES MOYENNES.	VOUTES LÉGÈRES.	ARCHES DE PONT.				VOUTES MOYENNES.			VOUTES LÉGÈRES		
mètres.		mètres.	mètres.	pieds.	p.	p.	lig.	p.	po.	lig.	p.	po.	lig.
1	0, 44	0, 22	0, 11	3	1	1	6	0	6	9	0	3	4 1/2
2	0, 48	0, 24	0, 12	6	1	3	0	0	7	6	0	3	8
3	0, 52	0, 26	0, 13	9	1	4	6	0	8	3	0	4	1 1/2
4	0, 56	0, 28	0, 14	12	1	6	0	0	9	0	0	4	6
5	0, 60	0, 30	0, 15	15	1	7	6	0	9	9	0	4	10 1/2
6	0, 64	0, 32	0, 16	18	1	9	0	0	10	6	0	5	3
7	0, 68	0, 34	0, 17	21	1	10	6	0	11	3	0	5	7 1/2
8	0, 72	0, 36	0, 18	24	2	0	0	1	0	0	0	6	0
9	0, 76	0, 38	0, 19	27	2	1	6	1	0	9	0	6	4 1/2
10	0, 80	0, 40	0, 20	30	2	3	0	1	1	6	0	6	9
11	0, 84	0, 42	0, 21	33	2	4	6	1	2	3	0	7	1 1/2
12	0, 88	0, 44	0, 22	36	2	6	0	1	3	0	0	7	6
13	0, 92	0, 46	0, 23	39	2	7	6	1	3	9	0	7	10 1/2
14	0, 96	0, 48	0, 24	42	2	9	0	1	4	6	0	8	3
15	1, 00	0, 50	0, 25	45	2	10	6	1	5	3	0	8	7 1/2
16	1, 04	0, 52	0, 26	48	3	0	0	1	6	0	0	9	0
17	1, 08	0, 54	0, 27	51	3	1	6	1	6	9	0	9	4 1/2
18	1, 12	0, 56	0, 28	54	3	3	0	1	7	6	0	9	9
19	1, 16	0, 58	0, 29	57	3	4	6	1	8	3	0	10	1 1/2
20	1, 20	0, 60	0, 30	60	3	6	0	1	9	0	0	10	6
21	1, 24	0, 62	0, 31	63	3	7	6	1	9	6	0	10	10 1/2
22	1, 28	0, 64	0, 32	66	3	9	0	1	10	6	0	11	3
23	1, 32	0, 66	0, 33	69	3	10	6	1	11	3	0	11	7 1/2
24	1, 36	0, 68	0, 34	72	4	0	0	2	0	0	1	0	0
25	1, 40	0, 70	0, 35	75	4	1	6	2	0	9	1	0	4 1/2
26	1, 44	0, 72	0, 36	78	4	3	0	2	1	6	1	0	9
27	1, 48	0, 74	0, 37	81	4	4	6	2	2	3	1	1	1 1/2
28	1, 52	0, 76	0, 38	84	4	6	0	2	3	0	1	1	6
29	1, 56	0, 78	0, 39	87	4	7	6	2	3	9	1	1	10 1/2
30	1, 60	0, 80	0, 40	90	4	9	0	2	4	6	1	2	3
31	1, 64	0, 82	0, 41	93	4	10	6	2	5	3	1	2	7 1/2
32	1, 68	0, 84	0, 42	96	5	0	0	2	6	0	1	3	0
33	1, 72	0, 86	0, 43	99	5	1	6	2	6	9	1	3	4 1/2
34	1, 76	0, 88	0, 44	102	5	3	0	2	7	6	1	3	9
35	1, 80	0, 90	0, 45	105	5	4	6	2	8	3	1	4	1 1/2
36	1, 84	0, 92	0, 46	108	5	6	0	2	9	0	1	4	6
37	1, 88	0, 94	0, 47	111	5	7	6	2	9	9	1	4	10 1/2
38	1, 92	0, 96	0, 48	114	5	9	0	2	10	6	1	5	3
39	1, 96	0, 98	0, 49	117	5	10	6	2	11	3	1	5	7 1/2
40	2, 00	1, 00	0, 50	120	6	0	0	3	0	0	1	6	0

[1] J'ai supposé, dans cette Table, que les pierres sont d'une dureté moyenne, et que les épaisseurs vont en augmentant depuis la clef jusqu'à l'endroit où la voûte se détache des pieds-droits, de manière que son épaisseur est double à cet endroit.

On sait que les anciens constructeurs grecs et romains posaient tous leurs ouvrages sans mortier ni cales, les voûtes comme les autres. Parmi les modernes, la plupart posent les pierres des voûtes comme celles des murs ou pieds-droits[1], c'est-à-dire qu'après avoir ajusté et mis en place, avec des cales plus ou moins grosses, selon les défauts des pierres, ils remplissent leurs joints avec du mortier ou du plâtre clair. Nous remarquerons cependant que les joints des voûtes, étant plus ou moins inclinés, ce procédé a moins d'inconvéniens que pour les murs, dont le lit des pierres est de niveau; parce qu'il est plus facile de bien remplir les joints, dans la seconde que dans la première position. Pour bien poser les voussoirs il faut, après avoir bien abreuvé les joints, pour que le mortier coule mieux et puisse aller partout, filasser les joints en dessous, et commencer à remplir avec du coulis clair, que l'on rend plus épais à mesure que les joints s'emplissent; on finit par du mortier ferme qui absorbe en partie l'eau de celui qui est trop clair. On peut même faire écouler l'eau surabondante en faisant quelques trous ou saignées dans les joints garnis de filasse, à mesure qu'on fait entrer de nouveau mortier par le haut, et remplacer ainsi de proche en proche, le coulis. Il y a des poseurs qui mêlent un peu de plâtre au mortier clair, dans l'espoir de compenser en partie la diminution du mortier par le renflement du plâtre; mais ce moyen est illusoire, parce que le plâtre noyé ne renfle pas, et ne fait que diminuer la qualité du mortier.

Il suffit de ces instructions élémentaires pour faciliter l'étude des voûtes, sous le rapport de la stéréotomie. Ce qui nous reste à dire, relativement à leur construction repose sur les connaissances théoriques qui expliquent les conditions et les principes de statique, en vertu desquels elles se soutiennent. Cette importante question, l'une des plus difficiles de l'art de bâtir, fait l'objet de la VIe. Section du IXe. Livre.

[1] Voyez ci-dessus, page 24.

CHAPITRE PREMIER.

PLATES-BANDES ET PLAFONDS NON APPAREILLÉS.

La construction en pierre de taille n'admettant que l'emploi des matériaux les plus choisis, devait par cela même être considérée comme la plus parfaite : aussi depuis les temps les plus reculés, les efforts de l'art ont-ils constamment eu pour objet, d'en étendre l'emploi à toutes les parties des édifices. Nous avons déjà fait remarquer, dans l'Introduction de cet ouvrage, de quelle manière les Égyptiens, guidés en quelque sorte par le seul instinct, avaient primitivement résolu ce problème : comment ensuite, chez les Grecs, un procédé analogue fut adapté à une architecture née de l'usage de la charpente, et vint restreindre la liberté de ses combinaisons dans certaines parties, pour ainsi dire accessoires des édifices, sans pouvoir être appliqué aux parties principales[1]. En effet, si l'on fait attention que les moyens à l'aide desquels les Égyptiens obtenaient cette homogénéité dans leurs édifices, étaient alors les seuls reconnus praticables, on concevra facilement que les Grecs, habitués à se procurer des espaces libres d'une grande étendue, par le moyen de la charpente, aient été arrêtés devant l'idée d'en obstruer le vide par les piliers nécessaires pour soutenir un plafond de pierre. C'est pourquoi, chez ce dernier peuple, les portiques,

[1] D'après Vitruve, la fragilité de la pierre semble seule avoir servi de base à la mesure de l'espacement des colonnes. L'entre-colonnement *pycnostyle*, le plus serré de tous, était aussi consacré aux temples de la plus grande dimension : le *systile*, dont l'ouverture est plus grande, convenait à ceux d'une échelle moyenne ; enfin le *diastyle*, comportant trois diamètres d'intervalle, était reconnu pour le plus grand entre-colonnement dont on pût faire usage ; mais son emploi n'était pas sans dangers. Passé ce dernier terme les architraves ne pouvaient plus être formés qu'en charpente. Livre III, Chap. II.

L'opinion des anciens était tellement éclairée à cet égard, qu'ils étaient frappés d'étonnement par les exemples qui dépassaient ces limites : à tel point qu'au temple de Diane, à Éphèse, la grandeur des architraves n'était pas la moindre cause de l'admiration générale pour cet édifice. C'est ce dont on peut juger, d'abord, par un passage de Philon de Byzance, sur ce monument, rapporté dans Gronovius, et tout rempli des éloges donnés aux dimensions gigantesques de son architecture : en second lieu, parce que le peu que Pline, qui peut être considéré comme l'écho de l'antiquité, rapporte de cette merveille du monde, est entièrement consacré à signaler comme un prodige l'élévation et la pose d'architraves d'une aussi forte dimension : enfin, par ce qu'on trouve dans Vitruve, sur les moyens extraordinaires employés pour le transport de ces masses énormes. En un mot, tout concourt à faire connaître jusqu'à quel point l'esprit des anciens était attentif aux difficultés que présente un genre de construction toujours hardi, et quelquefois périlleux.

les vestibules, les galeries, qui, par la nature de leur destination, pouvaient mieux se prêter aux dispositions convenables, furent les seuls ouvrages susceptibles d'être traités à la manière égyptienne.

Il est à remarquer que dans les monumens de ces deux peuples, que le temps nous a conservés, les plafonds exécutés de cette manière, ne parurent pas susceptibles de comporter aucune disposition architectonique. Rien de plus simple et de moins ordonné, comme décoration, que l'arrangement des pierres qui forment le ciel des monumens de l'Égypte : c'est ce qu'il est facile de reconnaître par les Fig. 1, 2 et 3 de la Planche XXVIII, qui représentent le plan, la coupe et les soffites de la salle hypostyle du grand temple de Karnak. Cet exemple choisi parmi une foule d'autres, non moins concluans dans notre sens, ne présente en effet que le résultat de la pratique la plus ordinaire.

On trouve un contraste non moins frappant entre les mêmes parties dans quelques temples de la Grèce, dont les soffites de marbre sont parvenus jusqu'à nous. Il est impossible de reconnaître aucun art dans les compartimens formés par les traverses et les dalles qui recouvrent le pronaos et les ailes du temple de Thésée à Athènes, Fig. 7, 8 et 9. Le vestibule des Propylées, disposé pour être terminé de la même manière, ne devait pas offrir un aspect beaucoup plus satisfaisant : et de plus, la grandeur des dimensions, dans ce dernier cas, devait ajouter quelque chose de périlleux et d'inquiétant pour l'esprit, eu égard à la fragilité des moyens d'exécution.

La couverture de la tribune de Pandrose, annexée au temple de Minerve Polyade, dont les soffites semblent figurer exactement les compartimens des plafonds de charpente, est le seul exemple d'une régularité parfaitement en harmonie avec le reste de la modinature. Il faut l'attribuer sans doute à l'exiguité de sa dimension, qui a permis à l'art d'en ordonner librement toutes les parties, Fig. 13, 14 et 15.

Un autre monument d'une construction non moins remarquable paraît encore très-propre à confirmer ce que nous venons de dire sur les difficultés que présentait tant à l'art, proprement dit, qu'à la construction, la nécessité de former en pierre, sans le secours de l'appareil, un plafond d'une certaine étendue; c'est celui vulgairement connu sous le nom de tombeau de Mylassa, représenté par les Fig. 10, 11 et 12. Certes on ne peut s'empêcher de reconnaître une certaine adresse dans la manière de disposer les pierres, afin d'éviter des portées trop considé-

rables; mais en même temps, la complication de formes, dans laquelle l'art se trouve entrainé par l'insuffisance des moyens ordinaires de la construction, ne saurait échapper à l'œil habitué à l'élégante correction qui distingue si éminemment l'architecture grecque.

Il est hors de doute que la noblesse et l'élégance des formes dont les Grecs s'étaient plu à embellir leurs élémens d'architecture, contribuèrent seuls à en propager l'usage chez les autres nations. Les Romains, entre autres, furent si vivement frappés de leurs beautés, que bien que déjà habiles dans l'art de bâtir, ils n'hésitèrent pas à les considérer comme les types de l'architecture. Cependant, tout en accueillant avec enthousiasme ces ordonnances si parfaites, on les vit s'étudier à concilier les difficultés attachées à leur emploi, avec les vastes données que leur imposait le besoin d'une cité si florissante. C'est ainsi que dans leurs plus importantes constructions les ordres grecs ne figurèrent, en effet, que pour la décoration, et que bien loin de subordonner la composition des édifices aux fonctions restreintes de ces élémens, ils ne leur donnèrent la plupart du temps qu'un rôle fictif à remplir dans leur ensemble [1].

Dans les simples imitations des temples grecs, on retrouve à chaque instant des preuves de leur supériotité dans l'art de bâtir : partout une judicieuse prévoyance vient déceler l'intelligence la plus éclairée sur la nature des fonctions de toutes les parties de l'édifice. C'est ainsi qu'au frontispice du Panthéon de Rome, Fig. 16 et 17, les pièces de marbre qui réunissent les colonnes entre elles, comprennent la frise et l'architrave, de manière à pouvoir présenter une plus grande résistance sous le poids du tympan dont elles sont surchargées.

Les arcs en briques qui se voient dans la maçonnerie dont est formé le fronton du temple de la Concorde, avaient bien sensiblement pour objet de préserver de l'action de ce poids les architraves de marbre qui unissent les colonnes de ce portail, Fig. 18 et 19.

On trouve même dans les trois colonnes qui restent aujourd'hui du temple de Jupiter Stator, l'occasion d'admirer la haute sagesse qui présidait dans toutes leurs opérations. Au moyen d'une coupe savante, déjà mise en pratique en d'autres cas, on y voit la frise sou-

[1] Entre autres exemples à l'appui de cette observation, il suffira de citer celui des énormes pendantifs demeurés suspendus à la masse, après l'enlèvement des colonnes qui semblaient soutenir la retombée des voûtes d'arêtes du temple de la Paix.

lager l'architrave du poids de la corniche et de la couverture, et reporter ainsi une charge dont elle fait partie, sur des points d'appui qui n'ont rien à redouter de l'action de ce fardeau, Fig. 20, 21 [1].

Les plafonds qui couronnent les entre-colonnemens des portiques sont les seuls espaces où la couverture en pièces de marbre ou de pierre d'un seul morceau, leur ait semblé praticable; ce fut aussi à cet office que se réduisit son usage ainsi qu'on le voit encore aux ruines des temples de Mars Vengeur, Fig. 22 et 23, ainsi qu'à ceux de Vesta, à Rome et à Tivoli, et dans ceux de Baalbek et de Palmyre. Dans les parties plus spacieuses du temple et des portiques, ils substituèrent quelquefois à l'emploi périlleux de la pierre, ou à la charpente que les Grecs avaient coutume d'employer, des plafonds, des armatures, et des voûtes en métal, ainsi qu'on le voyait au portique du Panthéon de Rome [2]; et plus ordinairement des voûtes en maçonnerie; comme au temple de la Fortune virile, à celui de Mars, ou Basilique d'Antonin, à ceux de l'Honneur et de la Vertu, de la Piété, et dans une foule d'autres édifices.

Au reste, indépendamment de la perfection des formes, il faut encore mettre au nombre des causes qui firent si généralement adopter les ordonnances des Grecs, ces apparences démonstratives qu'elles tenaient du type auquel ils reportaient leur origine (*la cabanne*); et à l'aide desquelles l'art, à défaut d'autres principes, ramenant tout à un système figuré, trouvait le moyen de masquer l'aspect, souvent défectueux, du morcellement des ouvrages en pierre de taille, et d'embellir en même temps les édifices par une décoration raisonnée.

[1] Nous voyons la précaution poussée encore plus loin, au monument d'Élabélus, à Palmyre, où M. Cassas a observé une disposition semblable, au-dessus de la pierre formant le linteau de la porte, du côté de l'intérieur; en ce que le morceau en coupe, faisant, comme ici, fonction de décharge, ne porte pas sur le linteau, mais laisse entre eux un espace de quelques pouces. Ce détail de construction ne fait pas moins d'honneur aux Romains qui l'ont si judicieusement mis en pratique, eu égard à l'énormité de la masse dont la porte est surmontée, qu'à l'artiste à la sagacité duquel il n'a pas échappé au milieu de tant de merveilles. MM. Dawkins et Robert Wood n'en avaient pas rendu compte dans les dessins qu'on trouve, de ce tombeau, dans leur ouvrage.

[2] La charpente de bronze dont ce portique était couvert existait encore, en son entier, au temps de Serlio. C'est d'après la figure qu'il en donne au troisième livre de son ouvrage, que nous l'avons rétablie sur notre dessin. Quant aux plafonds et voûtes de bronze, cet architecte en parle sur des traditions encore récentes, et qui, rapportées par lui, méritent une entière confiance. Quoi qu'il en soit, les entailles symétriquement distribuées sur les bords des architraves intérieures, manifestement destinées au scellement d'armatures en métal, suffisent désormais pour dissiper tous les doutes à cet égard.

On trouve dans le Tome Ier. de l'Architecture de Philibert de l'Orme, ouvrage tout rempli d'excellentes instructions, un passage relatif au sujet que nous venons de traiter dans ce Chapitre, et qui prouve que cet auteur n'était pas moins éclairé sur la pratique que sur la théorie de son art. Nous avons cru devoir en placer ici l'extrait afin de rendre à cet architecte célèbre la priorité sur cette importante question.

Comme il fault faire les epistyles ou architraves aux portiques et peristyles, quand l'on est contrainct de faire plus larges les entrecolomnements, que ne portent les mesures qui ont esté cy-dessus proposées[1]. (Livre VII, Chapitre XV.)

« Il se trouue quelque fois qu'on est contrainct de faire les espaces et entrecolomnements » plus larges que la raison ne veult : qui faict qu'on est aussi contrainct de chercher des » pierres fort longues pour porter d'une colomne à autre, lesquelles le plus souvent ne » sont assez fortes, pour soustenir le faix et pesanteur qu'il fault mettre et maçonner par » le dessus, tant de frises que des corniches, et autres. Pour cette cause j'ay faict à la » figure cy-après proposée, une mesure et ordre de colomnes avec leurs ornements » d'autre sorte que je ne vous ay dict par cy-devant. Vous y observez comme pour sa » largeur je figure quatre colomnes, et au milieu des entrecolomnements je mets quatre » diamètres, et trois par les costés, qui est grande largeur et grande estendue pour les ar- » chitraves, lesquels il ne fault faire ainsi d'une pièce, qui ne voudroit qu'ils se rompis- » sent : mais pour les avoir forts, il les fault faire de plusieurs pieces, avec leurs commis- » sures de pente, ou joincts d'engraissement (ainsi que les appellent les ouvriers) au lieu » où vous voyez qu'à chacune commissure, au droict de l'architrave, je fais des trouz » quarrez, jaçoit qu'ils ressemblent à lozanges, ayants les pointes en haut et en bas. Ce » que je vous monstre et propose en plus grand volume, au dessous de ladite figure, » aux lieux marqués A, qui sont un architrave de plusieurs pièces, portant sur deux » chapiteaux, auxquels lieux de A, quand les pièces sont assemblées et maçonnées, on » met un detz de pierre tout à travers du dit architrave, qui se maçonne avec la laictance » de chaux, comme le reste. Le tout estant ainsi faict, et les pieces de l'architrave mises » sur le lict, elles sont beaucoup plus fortes que si elles étaient d'une seule pièce. Vous » voyez d'autres pièces que j'ai hachéez avec le detz, aussi marquées A, qui font co- » gnoistre si familièrement telle façon, qu'il n'est de besoing d'en faire plus long dis- » cours : joinct aussi qu'il est tres aisé de cognoistre le tout par la dicte figure (*Voyez* » *Planche XXIX, Figure* 1), je ne dirai seulement pour toutes façons d'architrave, mais » aussi pour toutes plattes bandes qui ont grandes saillies et grande estendue d'une colomne » à autre. Il est bien vray que j'ay trouvé que en aucuns édifices antiques par dessus les » architraves au droit de la frise, l'on faisait des arcs surbaissez pour garder que les » architraves ne se rompissent entre les colomnes. Qui sera cause de me faire escrire » d'une autre sorte de portique, beaucoup meillcure et plus assurée, quand on veut » eslever son bastiment d'un stage, ou de deux, ou trois : car il ne fault craindre qu'il » en advienne faulte. » (Voir le Chapitre XVI du même Livre.)

[1] C'est-à-dire le diastyle, selon la doctrine de Vitruve; cependant Philibert de l'Orme applique aussi son moyen à ce dernier entrecolonnement

CHAPITRE DEUXIÈME.

APPAREIL DES PLATES-BANDES ET PLAFONDS.

Les plates-bandes et plafonds d'une seule pièce furent bien évidemment, chez tous les peuples, les premiers moyens de l'art de bâtir, dans les constructions en pierre de taille. Nous avons déjà dit que l'invention des arcs et des voûtes en pierre remontait seulement aux premiers temps de Rome. Quant aux plates-bandes appareillées, dont il n'existe que de rares exemples dans les monumens antiques, on aurait pu les croire d'une origine moins ancienne encore, si l'on ne trouvait l'emploi simultané de ces deux systèmes dans l'un des monumens de la première époque, l'Émissaire du lac Albano (Planche XXIX, Figure 2).

Il est à remarquer qu'avant la connaissance des ordonnances des Grecs, l'emploi de ces ingénieux procédés formait, pour ainsi dire, l'unique décoration des constructions romaines : mais l'architecture grecque une fois répandue, l'art ne pouvant d'abord tirer aucun parti de combinaisons qui n'étaient plus en harmonie avec les élémens de cette architecture, réserva l'appareil des arcs et des plates-bandes pour les monumens qui n'étaient susceptibles d'aucune autre décoration; tels que les ponts, les aquéducs et les parties internes des édifices qui n'étaient soumises qu'aux lois de la saine construction.

Indépendamment de l'action qu'exercent sur leurs points d'appuis les plates-bandes appareillées, l'irrégularité qu'entraîne pour chaque pierre la coupe en forme de coin, contribua sans doute à écarter ce genre de construction des ouvrages d'architecture[1]. Cependant il paraît

[1] La Figure 3 présente un moyen assez ingénieux de concilier la beauté d'une architrave d'une seule pièce, avec l'avantage de joints en coupe, qui consiste à faire raccorder le linteau à joints d'onglet avec les jambages, dans une porte. Cet exemple est tiré du tombeau d'Iamblichus, rapporté dans l'ouvrage de M. Cassas, sur la Syrie.

On peut encore citer au nombre des constructions remarquables en ce genre, bien que sous un rapport différent, la porte du temple de Jupiter, à Baalbek. Il paraît qu'avant le tremblement de terre de 1759, qui a fait descendre l'énorme pierre formant clef au milieu de cette porte, on n'avait qu'une idée imparfaite de son appareil. Pocokes dit bien que l'architrave est composée de trois pierres; mais la figure qu'il en donne est inexacte. MM. Dawkins et Robert Wood n'entrent dans aucun détail à ce sujet. M. Volney fut le premier à en consigner la remarque dans son voyage; et M. Cassas, qui visita ces lieux après ce dernier, en a levé des dessins qui présentent l'exactitude la

que les Romains en avaient d'abord essayé l'application aux architraves des temples d'ordonnance grecque, ainsi que le témoignent les sommiers, portant coupes, demeurés sur les chapiteaux du temple de Junon, dans le portique d'Octavie, Fig. 5. Dans la suite, l'expérience ayant démontré l'avantage de ce moyen de construction, sur celui des plates-bandes d'une seule pièce, l'usage s'en répandit dans les ouvrages d'architecture; mais l'appareil n'y exista que d'une manière inaperçue, comme aux arcs compris entre les colonnes[1]. Tout porte à croire que ce ne fut que dans les derniers temps de l'empire que l'on vit un appareil raisonné, appliqué à toutes les parties et devenir l'unique décoration des édifices en pierre de taille[2]. On en vint même à faire figurer dans l'ensemble, à l'aide de bossages, les claveaux dont se composait l'architrave, comme aux carcères construites du temps de Domitien, pour l'usage de l'amphithéâtre, Fig. 6.

Au reste, les précautions dont ils ont accompagné l'emploi de ce moyen, dans diverses circonstances, prouvent l'intelligence parfaite qu'ils avaient des avantages et des inconvéniens dont il était susceptible. C'est ainsi qu'au théâtre de Marcellus à Rome, dans les joints des plates-bandes qui soutiennent les retombées des voûtes du second rang de portiques, on voit des espèces de tenons et des entailles. Cette disposition est représentée par la Fig. 7, dans laquelle D désigne les bossages ou tenons réservés dans les sommiers AB[3].

plus frappante. Les détails de cette porte, et une foule d'autres du plus grand intérêt pour l'architecture, font partie de ce qui reste à publier de ce magnifique ouvrage. C'est d'après la communication que l'auteur a bien voulu nous en faire, que nous avons dessiné la Figure qu'on en voit sur la Planche XXIX, N°. 4. L'échelle commune à toutes les Figures de la même Planche, rend plus sensible ici ce luxe de moyens déployé dans les monumens de la Syrie, dont il a déjà été question dans cet ouvrage, et qui ne contribue pas moins à exciter l'admiration de la postérité, que la magnificence de leur architecture.

[1] Ainsi qu'on le voit au portique du théâtre de Marcellus, à ceux du Colysée, et à tous les arcs de triomphes antiques.

[2] Comme aux amphithéâtres de Vérone et de Pola, en Istrie. L'appareil raisonné devint aussi un puissant moyen de décoration entre les mains des architectes qui fleurissaient en Italie, au commencement du seizième siècle. Indépendamment des ouvrages de ceux d'entre eux qui ont écrit sur leur art, on peut encore consulter avec fruit, sur ce sujet, l'intéressant ouvrage de MM. Percier et Fontaine, sur les palais et maisons de Rome.

[3] On en voit de semblables dans les joints des voussoirs de plusieurs arcs antiques, et surtout dans ceux du Colysée. Au lieu de bossages réservés en taillant la pierre, ils ont quelquefois incrusté des cubes de pierre de 3 à 4 pouces. Plusieurs constructeurs mo-

L'appareil d'une porte en pierre de taille, placée dans l'intérieur du tombeau de Cœcilia Metella, offre un exemple encore plus remarquable en ce genre : le linteau de cette porte est exécuté en plate-bande dont les claveaux sont à double coupe, comme on le voit par la Fig. 8.

Enfin l'appareil des plates-bandes ne parut jamais mieux entendu que dans les derniers ouvrages des anciens Romains. On peut citer pour exemple en ce genre l'une des portes du palais de Dioclétien, à Spalatro, dont le savant George Welher avait autrefois admiré l'ingénieuse structure, et que plusieurs voyageurs modernes nous ont fait connaître par des dessins très-circonstanciés [1]. Cette porte est représentée par la Fig. 9 de la même Planche.

Il est de principe dans l'art de l'appareil que dans les murs, comme dans les voûtes, les joints des pierres qui se touchent doivent faire des angles égaux, ou des angles droits, avec les surfaces apparentes qu'elles forment; mais comme dans les voûtes plates il n'y a que des joints perpendiculaires à leur surface qui puissent produire avec elle des angles égaux, il en résulte que toutes les voûtes plates horizontales devraient avoir leurs joints d'aplomb. Cependant, comme il ne peut exister unité d'action entre des pierres jointes ensemble par des plans verticaux, on n'a pu obtenir cet effet qu'en déterminant sur les pieds-droits, au moyen de plans inclinés, des efforts latéraux, d'où résulte une pression qui fait toute leur solidité. Fig. 1 à 14, Planche XXIX. Comme cet appareil a le désavantage de former des angles inégaux avec la surface inférieure, il en résulte que ces pierres auxquelles on donne le

dernes ont fait usage de boules de plomb d'environ 2 pouces de grosseur, pour mettre dans les joints de plates-bantes; j'ai vu même y employer des cailloux ronds, et je pense que lorsqu'ils sont entaillés et scellés avec soin, ils sont préférables aux boules de plomb, parce qu'ils ont plus de fermeté.

[1] La porte du Septentrion; « la structure des pierres de l'architrave de la grande entrée de cette porte est fort bien travaillée. » (*Wheler*, *Voyage en Dalmatie*. Tom. Ier., Livre I, page 24.)

On trouve dans les ruines d'Anthakieh, l'ancienne Antioche, plusieurs portes appareillées de la même manière que celle du palais de Spalatro. Voir, pour ces deux exemples, Cassas, Voyage d'Istrie et de Dalmatie.

On remarque dans les constructions des Arabes, qu'ils affectaient de faire les joints des portes et des voûtes en pierre de taille, par ondulation ou dentelés; ce qui prouve que les constructeurs de tous les temps et de tous les pays ont connu l'avantage d'augmenter, par tous les moyens possibles, l'union des pierres qui ne peuvent se soutenir que par les joints, en les empêchant de glisser. Voyez les Fig. 15 et 16 de la Pl. XXIX.

nom de *claveaux*, n'ont pas une résistance égale; que leurs efforts ne se correspondent pas, et qu'elles poussent toutes à faux les unes des autres, comme on le voit par les perpendiculaires tirées de l'extrémité des joints F*a*, 1*c*, 2*e* : de sorte qu'une pareille voûte ne pourrait se soutenir, quelle que fût l'épaisseur des pieds-droits, si le frottement causé par la rudesse et l'inégalité des surfaces ne les empêchait pas d'agir librement, et si le mortier et les fers qu'on emploie à leur construction ne les entretenaient ensemble avec une force supérieure à ces efforts. On pourra s'assurer de cet effet comme moi, en faisant faire un modèle en marbre poli.

Pour bien sentir le défaut d'appareil dont on vient de parler, il faut tracer, du centre où tendent les joints des claveaux, un arc tangent à la ligne du dessous de la voûte plate, et prolonger les joints jusqu'à la rencontre de l'arc, Fig. 11. Il est facile de voir, par cette opération, qu'une voûte plate peut être considérée comme un segment d'arc, dont on a supprimé les parties inférieures F, K, H, et que cette suppression de parties aussi essentielles, ne peut produire qu'une construction très-faible et défectueuse.

Lorsqu'on veut construire des voûtes plates pour des architraves, des plates-bandes ou des linteaux de grandes portes, il serait nécessaire, pour éviter ce défaut, de ne prolonger la coupe des claveaux que jusqu'à la rencontre de l'arc A, B, F, inscrit dans la plate-bande, comme l'indique la Fig. 13, et terminer le surplus par des lignes à plomb. On remplacera ces parties de coupes supprimées, en formant le dessus, appelé *extrados*, par un arc concentrique à celui où s'arrêtent les coupes [1].

Plusieurs architectes habiles ont employé un moyen à peu près semblable, et dont ils ont fait un mode de décoration. Vignole a donné, en ce genre, un dessin de porte rustique qui réunit la beauté et la solidité; mais, en général, ce genre d'appareil ne peut être mis en

[1] Ce moyen d'augmenter les claveaux, en allant des pieds-droits au milieu de la clef, leur donne plus de solidité. Je l'ai vu pratiqué avec succès à Trapani, en Sicile, où presque toutes les grandes portes carrées et les ouvertures de boutiques sont appareillées comme l'indique le côté A de la Figure 14. Le côté B présente le même accroissement, des pieds-droits à la clef; mais au lieu de suivre une ligne inclinée, chaque claveau est terminé par une surface horizontale, qu'on nomme tas de charge. Ce moyen a l'avantage de procurer une meilleure assiette à la maçonnerie dont une plate-bande peut se trouver surchargée. On voit cette forme d'extrados observée à une porte, dans un mur d'échiffre du théâtre de Marcellus.

usage que pour des portes, ou des vides, pratiqués dans l'épaisseur des murs.

Il est facile de comprendre que d'une part, la hauteur des pierres et leur qualité, et de l'autre l'épaisseur que l'on se propose de donner à une plate-bande, devront décider, dans tous les cas, de l'éloignement du centre auquel doivent tendre les joints des claveaux dont elle se compose. En général, la mesure de l'angle C, formé au milieu, par la rencontre des lignes tirées des deux sommiers, peut varier de 60 à 40 degrés, dans la pratique ordinaire.

En principe, une pareille voûte ne peut pas se soutenir, quand la perpendiculaire FG (aux lignes qui forment l'ouverture de l'angle sur les sommiers), ne se trouve pas renfermée dans son épaisseur: Figures 2, 6, 10 et 12.

Ces voûtes ne sont solides que lorsqu'elles peuvent comprendre un arc dont l'épaisseur soit égale à la coupe sur les pieds-droits IF, ainsi qu'on le voit par la Figure 13. Ces propositions se trouvent démontrées au Livre IXe.

La régularité de l'appareil et la solidité exigent que les voûtes plates, ainsi que celles dont la surface est courbe, soient composées de rangs de claveaux, ou de voussoirs, disposés selon la direction des faces des pieds-droits ou murs qui les soutiennent : ainsi la voûte plate, Fig. 1 et 2, Planche XXX, soutenue par deux murs parallèles, doit être composée de rangs de claveaux qui suivent la même direction; il en serait de même si c'étaient deux piliers.

Les Fig. 3 et 4 représentent une voûte sur un plan carré, soutenue par les quatre murs qui la renferment. Les rangs de claveaux forment des carrés concentriques; ceux des angles sont communs à deux côtés; la clef est carrée, portant coupe des quatre côtés. Les lignes tracées sur les plans 2 et 4, forment l'épure ou la projection des voûtes 1 et 3; les traits pleins indiquent les joints de dessous, et les lignes ponctuées ceux de dessus. C'est d'après l'épure et le profil d'une voûte qu'on trace les pierres qui doivent la composer.

Les Fig. 5 et 6 indiquent le profil et le plan d'une voûte plate sur un plan circulaire. Le plan ou épure, Fig. 6, fait voir la disposition des rangs circulaires de claveaux, posés en liaison les uns au-devant des autres, et fermés par une clef ou bouchon rond et conique.

Les Fig. 7 et 8 font voir une voûte plate soutenue par quatre piliers isolés ; les rangs de claveaux sont parallèles aux faces intérieures, et se rencontrent à angle droit sur les diagonales, où se trouvent des claveaux communs à deux côtés, comme dans la Fig. 4, avec une clef évidée aux quatre angles pour recevoir les derniers claveaux des diagonales : mais cette disposition de voûte, non plus que celle entre deux murs parallèles, Fig. 2, ne saurait être employée que pour des espaces d'une petite largeur, à cause de la grande poussée qu'elles occasionnent : la plus avantageuse est la voûte sur plan circulaire, Fig. 6, parce que c'est celle qui pousse le moins.

Relativement aux voûtes sur un plan polygone quelconque, il est évident que plus il aura de côtés, plus la voûte approchera de la propriété de celles sur plan circulaire : ainsi une voûte carrée, comme celle représentée par la Fig. 4, bandée sur les quatre murs qui la renferment, a plus de solidité qu'une voûte entre deux murs parallèles ; une voûte hexagone, plus qu'une carrée, et ainsi de suite.

Quoique les voûtes plates présentent toujours une même surface, elles peuvent varier beaucoup par la forme de leur plan ; elles peuvent être régulières, irrégulières, biaises et quelquefois même rampantes : mais quelle que soit leur forme, la manière de les appareiller et de tracer les pierres qui les composent, n'a guère plus de difficulté que celle des murs et des constructions ordinaires, parce qu'on peut en représenter toutes les parties sur le plan ou épure, selon leur forme et grandeur, sans raccourci.

Pour les pierres, il faudra d'abord tailler les deux faces parallèles qui doivent former l'extrados et l'intrados de la voûte avec un des côtés d'équerre ; ensuite on tracera, d'après l'épure, leur plus grande largeur et les lignes qui indiquent ce qu'il en faut retrancher pour former les coupes, comme on le voit par les pierres A, B, C, D, E, F, G et H, qui représentent des claveaux de chacune des voûtes dont il vient d'être question, Fig. 2, 4, 6 et 8 : ils sont dessinés sur une échelle double des plans et des élévations ; on a indiqué, par des lignes ponctuées, la pierre à retrancher pour former les coupes. Ces claveaux sont marqués sur les plans par les lettres semblables *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g* et *h*.

Les architectes qui ont employé l'appareil en claveaux pour les plates-bandes et architraves, comme à la colonnade du Louvre, à celles de la place Louis XV, au portail de Saint-Sulpice, et au Panthéon

français, ou nouvelle église de Sainte-Geneviève, ont retenu la poussée irrégulière des claveaux par des tirans et des goujons de fer en forme de Z et de T. Tous ces fers forment une espèce d'armature qui contient ces plates-bandes de manière à ne pouvoir agir d'aucune façon; car il est bon d'observer qu'un tiran placé sur l'extrados d'une plate-bande simple, ne suffit pas toujours pour l'empêcher d'agir, comme on le voit par la Fig. 12, Planche XXIX, surtout lorsqu'elle a peu d'épaisseur. En effet, le moindre écrasement aux arêtes supérieures de la clef, et aux arêtes inférieures des claveaux qui joignent les pieds-droits, peut occasioner la désunion et même la chute de cette espèce de voûte, sans que les sommiers ou les parties supérieures des pieds-droits s'écartent, en raison du peu de différence qui se trouve, dans les plates-bandes qui n'ont pas une grande épaisseur, entre l'oblique AK et l'horizontale AL. On doit concevoir aussi que la moindre extension de la chaîne, ou tirant, peut favoriser cet effet, surtout lorsqu'elle n'est pas d'une seule pièce. Ces diverses questions se trouvent plus particulièrement traitées au Livre VII, Ire. Section, à l'occasion des armatures d'architraves, colonnades et frontispices.

OBSERVATION.

On peut conclure, de tout ce qui vient d'être dit dans ce Chapitre, que les voûtes plates ne conviennent pas pour les pièces d'une certaine étendue. On ne peut les employer, avec succès, que pour des architraves ou des plates-bandes auxquelles on peut donner une épaisseur égale au quart, ou au moins au cinquième de leur portée; elles peuvent encore être employées pour former des plafonds de peu d'étendue, renfermés entre des architraves.

QUATRIÈME SECTION.

APPAREIL DES ARCS, DES PORTES ET DES VOUTES EN BERCEAU.

A l'exception des courbes savantes, dont les modernes ont introduit l'usage pour certains ouvrages de l'Art de Bâtir, on retrouve dans les constructions romaines la solution de toutes les questions de géométrie auxquelles on a appliqué depuis l'étude de la stéréotomie. Indépendamment de la complication de formes qui résulte de l'assemblage des diverses parties dont un édifice se compose, il faut, sans doute, mettre au premier rang, parmi les causes qui les conduisirent à une connaissance si complète des voûtes et de leurs combinaisons, la nécessité dans laquelle l'art se trouva, chez eux, de rechercher dans le mécanisme de leur construction, les élémens d'une nouvelle architecture; comme il l'avait fait, avec tant de succès, en Grèce, dans le système de construction propre à la charpente. En effet, dans les monumens les plus remarquables en ce genre, le principal moyen de l'art semble résider tout entier dans la hardiesse, le jeu ou la richesse des voûtes [1]; de même qu'il existait déjà uniquement dans la magnificence des ordres grecs pour l'aspect des parties externes des édifices.

Au reste, les difficultés attachées aux diverses pièces de trait s'évanouissaient avec l'emploi de la maçonnerie, particulièrement affectée à ces sortes de constructions, sans néanmoins qu'il soit possible d'en inférer leur ignorance en stéréotomie; puisque, indépendamment des arcs droits et des voûtes cylindriques de toutes dimensions, on trouve des exemples authentiques d'arcs biais, de descentes, de voûtes coniques et même sphériques, exécutés par eux en pierre de taille, avec toute la précision géométrique. Cependant, il est vrai de dire qu'en général il existe une ligne de démarcation bien tranchée entre l'un et l'autre procédé, et que l'on ne rencontre plus l'appareil en pierre de

[1] Le Panthéon de Rome; la grande salle des Thermes de Dioclétien, à Rome, demeurée seule aujourd'hui intacte de tant de constructions du même genre. Celle du Temple de la Paix, que nous avions principalement en vue, eût été sans doute d'un plus grand poids en faveur de notre opinion, mais la destruction presque totale de ce beau monument ne permet plus guère qu'aux architectes d'en concevoir toute la perfection, et d'apprécier la supériorité des résultats de ce nouveau système.

taille, du moment où les dispositions du plan entraînent quelques complications dans la forme des voûtes [1].

Nous avons dit ci-devant, page 98, que les voûtes en pierre de taille, exécutées par les anciens Romains, étaient presque toutes en plein cintre, et pour la plupart extradossées d'égale épaisseur; mais cette dernière condition ne se trouve pas aussi généralement observée que la première : on rencontre même quelquefois la plus grande indécision dans cette forme de l'appareil, comme on le voit dans plusieurs ponts antiques, dont il sera parlé au Livre IXe. VIe. Section, Chapitre III. Quant aux voûtes d'égale épaisseur, celles de l'Émissaire du lac d'Albane peuvent être considérées comme les plus anciennes, bien que la forme d'extrados n'y soit pas très-correctement arrêtée, ainsi qu'on peut le reconnaître par la Fig. 1 de la Planche XXXI.

Le pont Fabricius, aujourd'hui *Quatro Capi*, à Rome, construit du temps de la république, est un des premiers édifices où cette disposition ait été rigoureusement observée, Fig. 2. On ne saurait décider si cette forme d'appareil, qui, comme nous le dirons tout à l'heure, a l'inconvénient de ne pas opérer de liaison entre l'arc et les murs, leur fut conseillée par le goût, ou s'ils l'adoptèrent pour s'affranchir de l'étude nécessaire pour raccorder ensemble l'intersection des assises avec les joints des voussoirs. Il est certain que cette méthode devait apporter beaucoup de promptitude dans l'exécution, et qu'elle présente en elle-même une régularité fort agréable [2].

Ce qui pourrait donner lieu de penser que le goût n'était pas tout-à-fait étranger au choix de cette disposition, c'est que, lorsqu'en certains cas les Romains voulurent présenter l'idée d'une plus grande force dans la construction des voûtes en pierre de taille, au lieu d'augmenter la longueur des voussoirs, ce qui leur eût procuré une forme défectueuse, ils construisirent un second cintre, dont les joints se croisaient avec ceux

[1] Cette distinction paraît surtout remarquable dans les parties internes des théâtres, où les formes du plan donnent lieu à des voûtes de toutes espèces.

[2] Quoi qu'il en soit à cet égard, on ne peut méconnaître l'habileté avec laquelle ils surent modifier au besoin les défectuosités qu'eût fait naître, en certaines occasions, l'observation exclusive de cette disposition : c'est ainsi qu'au pont du Gard ils ont raccordé ensemble, à joints droits sur chaque pilier, avec un même nombre d'assises horizontales, les trois premiers voussoirs des arcs contigus, de manière à procurer une meilleure assiette à la maçonnerie érigée sur les arceaux presque jointifs du troisième rang, comme on le voit par la Figure 7 de la Planche XXVII.

du premier, ainsi qu'on le voit aux petits arcs latéraux du pont Fabricius, Fig. 3; et quelquefois même un troisième, comme à l'embouchure de la *Cloaca Massima*, Fig. 4.

Au temps de Vespasien, on vit la forme de l'extrados des voûtes en pierre de taille éprouver une modification utile, et que semblaient devoir indiquer, d'abord, les coupures irrégulières produites par la ligne circulaire au milieu des assises des murs. Ce perfectionnement consiste dans le raccordement à angle droit des voussoirs, avec les rangées d'assises interrompues par l'insertion de l'arc. Le pont Élien, aujourd'hui Saint-Ange, à Rome, est sans doute le premier et le plus grand ouvrage où cette disposition ait été observée. (*Voyez Livre IX, VIe. Section, Chapitre III.*) On retrouve la même forme d'appareil aux arcs en pierre du Colisée; mais le morceau le plus remarquable en ce genre est sans contredit l'arc pratiqué dans le mur d'enceinte du forum de Nerva [1]; tant à cause de la belle proportion de toutes ses parties, que parce qu'il se trouve percé obliquement dans la muraille, de manière à présenter *un arc biais*. Figure 5.

On sera moins surpris de la rare perfection de cette pièce de trait, quand on viendra à considérer que bien avant le temps de son exécution, les Romains avaient donné une preuve non moins remarquable de leur savoir en stéréotomie, dans la construction de la voûte conique de l'Émissaire du lac *Albano*. Fig. 6, 7, 8 et 9.

Après ces divers exemples, les berceaux inclinés ou descentes droites des Arènes de Nîmes, Fig. 10 et 11, ne présenteront plus rien d'extraordinaire; et l'on sera fondé à croire que s'ils n'ont pas fait un plus grand nombre d'applications de cette science aux voûtes de leurs édifices, c'est que, d'une part, l'art de l'appareil, qui ne pouvait suffire à leur décoration, se fût trouvé perdu dans les compartimens dont ils ornaient les voûtes, et, de l'autre, que les voûtes en maçonnerie étaient d'une execution beaucoup plus prompte et plus facile [2].

Les monumens exécutés par eux, dans les colonies lointaines, et prin-

[1] Que les Romains désignent aujourd'hui sous le nom de l'arc *de Pantani*.

[2] La salle désignée par Piranesi, sous le nom de galerie des statues, dans les ruines de la ville Adrienne, offre peut-être le seul exemple de voûte d'arête où l'on ait employé le tracé de l'appareil comme moyen de décoration. Au reste, comme le dessin de cet appareil fut sans doute abandonné au stucateur, on y remarque les mêmes fautes que commettent journellement les peintres, lorsqu'ils veulent tracer les joints sur des pièces de trait dont ils ignorent la construction.

cipalement à Baalbek, l'ancienne Héliopolis, et à Palmyre, hors des ressources qu'ils trouvèrent partout ailleurs pour ce dernier genre de construction, viennent prêter un grand degré de vraisemblance à cette assertion. En effet, on y trouve encore des indices certains de l'existence de voûtes en pierre de taille de toutes formes et de toutes grandeurs. Entre autres exemples irrécusables, les premiers voussoirs qui se voient sur les murs du petit temple de Baalbek, observés d'abord par le savant Pocokes, et vérifiés depuis par Dawkins, Robert Wood et Cassas, faisaient indubitablement partie d'une voûte en berceau, dont la disposition rappelle, sous quelques rapports, celle de la voûte des bains de Diane, à Nîmes, Figures 12 et 13 : de même que l'observation de pierres en forme de voussoirs sphériques, demeurées autour de la corniche d'un temple circulaire, dans la même ville, Figures 14 et 15, confirmée par les mêmes voyageurs, témoignent de l'existence au temps des empereurs d'une voûte sphérique appareillée en pierre de taille [1].

[1] Les voyageurs qui visitèrent ces lieux depuis la fin du dix-septième siècle, jusqu'au commencement du dix-huitième, tels que Maundrell, de la Roque, et Richard Pocokes, purent encore voir dans son entier la voûte de cet édifice, qui, pendant long-temps, servit d'église aux chrétiens. Pocokes remarque qu'il n'était éclairé que par la porte.

Sur les Planches XLIII, XLIV, XLV de l'ouvrage de Robert Wood, qui représentent, sous divers aspects, ce temple dans son état présent (1757), la lettre A, plusieurs fois répétée, sert à indiquer d'une manière particulière *la partie de la voûte qui est encore sur pied.*

M. Cassas a dessiné avec encore plus d'exactitude la forme et la situation des pierres qui restent, de cette voûte, au-dessus de la corniche intérieure du temple. C'est d'après les Planches qu'il en donne dans son ouvrage qu'ont été faites les Figures 14 et 15.

CHAPITRE PREMIER.

DES ARCS.

Dans les Ire. IIe. et IIIe. Sections de ce Livre, on a fait connaître les différentes courbes propres à former le cintre des voûtes; la manière de les tracer, de leur mener des tangentes et des perpendiculaires pour former les coupes des voussoirs; les moyens d'imiter les ellipses avec des arcs de cercle, et de tracer toutes sortes d'ovales pour les cintres appelés *anses de panier* et les arcs rampans; il a été question des principes relatifs au tracé des épures et au développement des surfaces des corps solides; de la manière de trouver les angles que ces surfaces forment par leur réunion; on a parlé de l'arrangement des voussoirs, de la manière de déterminer la forme d'extrados des voûtes, et de l'épaisseur qu'il convient de leur donner : il nous reste à faire l'application, à la stéréotomie, de ces instructions élémentaires.

Les arcs ou arcades sont des voûtes pratiquées dans des murs ou massifs, dont les joints des voussoirs forment des angles ou crossettes pour se raccorder avec les assises horizontales de ces murs ou massifs, comme on le voit représenté par la Figure 1 de la Planche XXXIII.

Arcs droits et biais dans des murs a plomb et en talus.

On a réuni dans cette Planche les projections horizontales ou épures de quatre espèces de murs dans lesquels cette arcade peut être percée, Figures 2, 5, 8 et 11; avec les coupes ou profils correspondans a chacune, Figures 3, 6, 9 et 12, et leurs développemens, Figures 4, 7, 10 et 13. On y a joint la perspective à 45 degrés des voussoirs indiqués par les lettres I, K, L, M, dans la Figure 1, pour indiquer leurs formes et la manière de les tracer.

Les projections horizontales, Figures 2, 5, 8 et 11, présentent les arcs renversés; les lignes tirées pleines indiquent les joints de la douelle ou intrados, et les lignes ponctuées la projection des coupes internes.

Dans les Figures 2 et 8, les faces étant supposées perpendiculaires au plan de projection, sont indiquées par les lignes A'B'C'D' et A'''B'''C'''D'''; mais dans les Figures 5 et 11, les faces inclinées, formant talus, sont indiquées par les quadrilatères, A'', N'', B'', P'', et A'''', N'''', B'''', P'''', représentant, en raccourci, l'appareil tracé sur la Figure 1.

Ces projections se font par le moyen du profil sur lequel on prend, d'après la face verticale ou d'aplomb, les épaisseurs correspondantes à chaque joint de la douelle : ainsi, pour le plan Figure 5, on a porté l'épaisseur $6''$, m'' du profil Figure 6 sur les lignes de ce plan qui représentent les projections des premiers voussoirs de g'' en $1''$ et de m'' en $6''$; pour le second joint on a pris l'épaisseur $5''$ l'' qu'on a portée de même sur les lignes de projection du plan qui les représentent de h'' en $2''$ et de l'' et $5''$.

Pour les troisièmes joints qui comprennent la clef, on a porté l'épaisseur $4''$, k'' du profil sur leurs lignes de projection en plan i'' en $3''$ et de k'' en $4''$, et enfin l'épaisseur d'', z'' du profil de z'' en d'' du plan sur la ligne qui passe par le milieu de la clef; et par les points a'', $1''$, $2''$ $3''$, d'', $4''$, $5''$, $6''$ et b'', on a tracé une ellipse qui présente le raccourci du cintre circulaire de la Figure 1, à cause du talus.

Pour la ligne droite d'extrados représentée par N, P, Figure 1, on a porté $C''z''$ Figure 6, de C'' en N'' et de D'' en P'', et on a tiré N'' P'' ponctuée, et les lignes $9''$, $3''$ et $4''$, $10''$ qui expriment les joints de la clef; on a porté ensuite les épaisseurs prises sur le profil à la hauteur des points $23'$ et $24'$, sur le plan de C'' en $17''$ et $18''$, et de D'' en $19''$ et $20''$, par lesquels on a mené des parallèles $A''B''$ jusqu'à la rencontre des lignes $7''$, $8''$, $11''$ et $12''$, et on a tiré les coupes $7''$, $1''$; $8''$, $2''$; $5''$, $11''$ et $6''$, $12''$. Si l'opération est bien faite, toutes ces lignes de coupe doivent se rencontrer au centre O. Cette projection en raccourci sert à trouver le développement des douelles et des joints représentés à la Figure 7. La largeur des douelles se prend en a, 1, 2, 3, 4, 5, 6, b de la circonférence du cintre droit, Figure 1, qu'on porte sur la ligne droite e'', f'' Figure 7, en e'', g'', h'', i'', k'', l'', m'', f''. Après avoir élevé par ces points des perpendiculaires, on porte sur chacune les grandeurs des lignes correspondantes, prises sur le plan Figure 5, et marquées des mêmes lettres et des mêmes chiffres, savoir a'', e'' en e'', a''; $1''$, g'' en g'', $1''$, etc. La largeur des joints ou coupes se prend aussi sur la Figure 1, en 7, 1; 8, 2; 9, 3; 10, 4; 5, 11 et 6, 12; on les porte sur la ligne $e''f''$ de la Figure 7, en $g''s''$, $h''n''$, $i''o''$, $k''p''$, $l''q''$, $m''r''$. Ensuite, après avoir élevé d'autres perpendiculaires des points s'', n'', o'', p'', q'', et r'', on porte dessus les grandeurs $s''7''$, $n''8''$, $o''9''$, $p''10''$, $q''11''$, et $r''12''$ prises sur le plan de projection Figure 5, et on tire les lignes $7''$, $1''$; $2''$, $8''$; $3''$, $9''$; $4''$, $10''$; $5''$, $11''$ et $6''$, $12''$.

Chacun de ces quadrilatères qu'on appelle panneaux de douelle et de joint peut servir à tracer les pierres. On forme ces panneaux avec des planches minces en bois léger, en façon de cadre. On en fait encore d'autres appelées panneaux de tête, dont un est indiqué en K, Figure 1 ; ils sont découpés selon la forme apparente de chaque voussoir, indiqués par I, K, L, M.

Manière de tracer les pierres.

Lorsque l'arc est pratiqué dans un mur droit et d'aplomb dont les faces sont parallèles, comme celui représenté en plan par la Figure 2, et en profil par la Figure 3, il suffit d'un panneau de tête pour chaque voussoir différent.

Ainsi pour tracer le voussoir indiqué par la lettre K, on commencera par faire tailler le lit supérieur 17', t', u', a', Figure K', sur lequel, après avoir tracé les deux lignes parallèles 17', $a'u'$ pour fixer l'épaisseur du mur, on fera faire les deux faces d'équerre à ce lit, indiquées par ces lignes.

Ces faces étant faites, on appliquera sur chacune le panneau K, Figure 1, pour tracer la face apparente du voussoir, et on le terminera en abattant la pierre qui est au delà des traits tracés au moyen de ce panneau.

Lorsqu'une des faces du mur est inclinée en élévation pour former un talus, comme celui de l'arc exprimé en profil par la Figure 6, il faut, pour une plus grande facilité et une plus grande précision, supposer que chaque voussoir fait partie d'un mur dont les deux faces sont d'aplomb, en prenant pour son épaisseur celle de la partie la plus basse sur le profil, ainsi qu'on le voit indiqué par les lignes perpendiculaires 22'', 23'', 24''; et après avoir fait chaque voussoir, comme il a été dit pour l'arc précédent, on tracera la partie qui doit être retranchée pour former le talus, en appliquant sur chacune de leurs faces le panneau de douelle ou de joint qui y correspond. On peut même se dispenser de ces panneaux, en prenant les reculemens des parties à retrancher sur le profil Figure 6, ou sur le plan Figure 5, comme on a fait pour tracer les développemens de ces panneaux de douelle et de joint.

Si le mur est d'inégale épaisseur dans sa longueur, comme l'indique le plan Figure 8, on supposera que chaque voussoir fait partie d'un mur qui aurait la plus grande épaisseur dans laquelle il est compris, et

après avoir taillé les voussoirs comme pour la Figure 1, on retranchera de chacun ce que donne le biais d'une des faces, soit en appliquant sur chaque face les panneaux de joint et de douelle qui y répondent, soit en traçant sur ces faces les retranchemens d'après le plan et le profil, comme nous l'avons dit pour l'arc précédent.

Enfin, si le mur diminue l'épaisseur en élévation et en plan, comme celui indiqué par le plan Figure 11 et le profil Figure 12, on supposera que chaque voussoir est compris dans un mur dont l'épaisseur est égale à la plus grande largeur dans laquelle chaque voussoir se trouve compris, dont on retranchera les parties nécessaires pour former le biais et le talus par le moyen du développement des joints et des douelles.

Pour faciliter davantage l'intelligence des figures de cette planche, indépendamment de l'explication, on a indiqué par les mêmes chiffres et les mêmes lettres les parties semblables et correspondantes dans le plan, la coupe, le développement et les figures des voussoirs; de plus, on a eu soin de distinguer ce qui appartient à chaque arc, par le même nombre de petites unités placées après les chiffres ou les lettres qui se trouvent dans leur plan : on n'en a pas mis dans l'élévation, parce qu'elle est commune à tous.

Le père Guarini, dans son *Traité d'Architecture* civile, a donné une figure qui est très-propre à faire comprendre le développement des arcs terminés par des faces droites, obliques ou circulaires. Cette Figure, représentée par la Planche XXXIV, consiste en un demi-cylindre ABCD, enveloppé par des arcs extradossés d'égale épaisseur, auxquels il sert de cintre ou de noyau. Ce demi-cylindre représenté géométralement par la Figure 1, et son profil par la Figure 2, l'est encore par la Figure 3, qui en présente la perspective à 45 degrés.

Le développement de chacun de ces arcs est exprimé par les Figures 4, 5, 6, 7. Les voussoirs y sont représentés posés sur leur extrados, en sorte que les joints paraissent ouverts à l'intrados, où ils forment des angles qui séparent les douelles.

Le développement de l'arc droit EF est représenté par la Figure 4; celui de l'arc GHI, composé de deux parties formant un angle, est indiqué par la Figure 5.

La Figure 6 présente celui LMN, dont le plan est circulaire.

L'arc OPQ, qui est aussi circulaire en plan, mais situé obliquement par rapport à l'axe du cylindre, est représenté par la Figure 7.

Pour faire ces développemens, on prend sur le profil, Figure 2, la largeur des douelles de l'extrados, qu'on porte sur une ligne droite *df*, Fig. 4, supposée perpendiculaire à l'axe, en *d*, 7, 8, 9, 10, 11, 12, et *f*.

Pour l'arc droit EF, il suffit de mener une parallèle à *df*, à une distance égale à l'épaisseur de cet arc. Ayant ensuite divisé chacune de ces douelles d'extrados en deux parties égales, on portera de chaque côté la moitié de la largeur de la douelle intérieure, et comme elle est plus étroite que celle de l'extrados, les lignes tirées par les points *a*, 1; 2, 2; 3, 3; 4, 4; 5, 5; 6, 6 et *b*, laisseront de chaque côté des espaces qui représenteront les joints en raccourci.

Mais pour les arcs GHI, LMN, OPQ dont les faces sont obliques ou circulaires, il faudra sur la projection horizontale, Figure 1, mener une ligne KR perpendiculaire à l'axe qui passe, si l'on veut, par une des extrémités les plus saillantes, comme le point H pour l'arc GHI; le point M pour l'arc LMN, et R pour celui OPQ.

On prolongera ensuite les lignes des points d'extrados et d'intrados jusqu'à la rencontre de chaque directrice. Pour l'arc GHI, par exemple, on fera le développement des douelles d'extrados en portant, comme nous l'avons déjà dit, leur largeur prise sur le profil Figure 2, sur la directrice développée *an*, Figure 5, de *a* en *g*, *h*, *i*, *k*, *l*, *m* et *n*; par tous ces points ayant tiré des perpendiculaires indéfinies, on portera sur chacune la distance de leurs extrémités, à la directrice KR, prise sur la Figure 1 : ainsi on portera les distances *ed*, *g*7, *h*8, *i*9, *k*10, *l*11, *m*12 et *nf* en *ad*, *g*7, *h*8, *i*9, *k*10, *l*11, *m*12, et *nf*', sur le développement, Figure 5. On prendra ensuite sur la Figure 1 les épaisseurs *d*, *d*; 7, 7; 8, 8, etc., qu'on portera sur le développement Figure 5, de *d*' en *d*'', de 7' en 7'', de 8' en 8'', etc., et en traçant par tous ces points les courbes *d*'H'*f*' et *d*''H''*f*'', on aura les douelles d'extrados.

Pour celles d'intrados, on prendra sur le profil Figure 2, la moitié de la différence des douelles intérieures et extérieures, qu'on trouvera en menant deux parallèles aux lignes qui passent par le milieu de chaque voussoir, comme 3*r* et 4*s*, par rapport à la clef.

Les arcs dont il s'agit étant extradossés d'égale épaisseur, les différences 9*r* et *s*10 sont partout les mêmes, et *rs* donne toujours la largeur de la douelle inférieure : ainsi, pour avoir la position de cette dernière, on portera 9*r* et *s*10 sur la ligne *dn* du développement Figure 5, en *a*, *a*; 1, *g*; *g*, 1; 1, *h*, etc., et, après avoir tiré par les points *a* et tous

les points 1 des parallèles indéfinies, on portera sur chacune la grandeur des lignes correspondantes tracées sur le cylindre, c'est-à-dire *a*, *a*; 1, 1; 2, 2; 3, 3, etc., de la Figure 1, en *a*, *a*'; 1, 2; 1, 3; 1, 4, etc., du développement Figure 5. Comme les lignes qui terminent chacune des douelles en ce sens sont des lignes courbes, il faut, pour plus de précision, prendre pour chacune une mesure au milieu de la douelle, on aura la courbe des côtés opposés en portant partout une distance égale à *d'd''*.

Pour raccorder ces deux douelles et leur donner l'apparence de voussoirs renversés, on tirera les lignes *a'd'*, *a''d''*, 2 7, 7 2, 3 8, 8 3, 4 9, 9 4, qui représenteront les joints en raccourci.

On trouvera les développemens, Figures 6 et 7, des deux autres arcs LMN, OPQ, en opérant comme on vient de l'expliquer. On a marqué sur les projections et développemens de chacun, les mêmes chiffres et les mêmes lettres, de manière que l'explication que nous avons donnée pour l'arc GHI peut leur être appliquée.

Arcs droits, biais et en talus dans les murs circulaires en plan, nommés aussi en tour ronde.

D'après ce qui a été dit relativement aux Figures des deux Planches précédentes, il reste peu de chose à dire sur celle-ci. On observera seulement que la Figure 1, Planche XXXV, offre la projection verticale ou élévation de face commune aux trois arcs.

La Figure 2 représente l'épure ou projection horizontale de l'arc droit, c'est-à-dire de celui dont la ligne du milieu est perpendiculaire à la courbe du mur, en plan.

La Figure 3 présente son profil ou coupe, et la Figure 4 son développement.

On a exprimé dans la Figure 5 le plan d'un arc en tour ronde, dont la face n'est pas parallèle à la tangente de la courbe du plan; la Fig. 6 indique son profil, et la Fig. 7 son développement.

La Fig. 8 présente le même arc biais dans un mur en talus; son profil est exprimé par la Fig. 9, et son développement par la Fig. 10.

Les voussoirs E', F', G' représentés en perspective, dépendent de l'arc projeté en plan, Fig. 2.

Les voussoirs E'', G'', répondent à l'arc biais Fig. 5, et ceux marqués E''', G''' répondent à l'arc biais et en talus, Fig. 8.

On suppose que ces voussoirs ont été d'abord taillés comme pour des arcs en murs droits, et qu'on a retranché, par le moyen des panneaux de douelles, les parties excédantes pour former les courbures des faces.

Au surplus, les mêmes lettres et les mêmes chiffres répétés pour désigner dans chaque Figure les parties correspondantes, suffisent pour en faciliter l'intelligence.

CHAPITRE DEUXIÈME.

DES ARRIÈRE-VOUSSURES [1].

Les portes ou croisées cintrées diffèrent des arcs par les feuillures et les embrasemens qu'on pratique dans l'épaisseur du mur, pour loger les ventaux ou portes mobiles qui servent à fermer la baie ou l'ouverture, ainsi qu'on le voit dans les plans, Figure 3 et 6 de la Planche XXXVII, qui représentent les arrières-voussures de Marseille et de Montpellier. Ces deux arrière-voussures ne diffèrent entre elles qu'en ce que la première est terminée par un arc de cercle RO, Fig. 1, et la seconde par une ligne droite RO, Fig. 4.

Ces voussures sont des espèces de surfaces coniques, formées d'un sens par des lignes droites, qui se raccordent avec les lignes courbes qui les terminent. L'ouverture de la porte est ordinairement terminée en demi-cercle par le tableau; et les feuillures pour le placement des portes mobiles, suivent le même cintre; tandis que les arêtes extrêmes des embrasemens sont réunies par un arc de 50 à 60 degrés, dont le rayon est beaucoup plus grand. Les rencontres des faces droites des embrasemens avec la voussure, ne devraient pas être des arcs de cercle comme on le pratique, mais des courbes particulières, soit que la surface de la voussure se trouve exactement conique ou non.

On peut former la surface des voussures par différens moyens géométriques et pratiques, en raison de la régularité et de l'exactitude qu'on se propose dans ces sortes d'ouvrages.

Arrière-voussure de Marseille.

Premier moyen.

Si l'on suppose la courbe *o*R, continuée jusqu'à la rencontre d'une ligne horizontale, passant par le centre de la demi-circonférence A, Fig. 1, Planche XXXVI, et qu'après avoir divisé cette demi-circonférence en un nombre déterminé de parties égales, par exemple en 18, et que l'on tire du centre, par chaque point de division, des lignes droites prolongées jusqu'à la rencontre de l'arc FR*o*; ces lignes indi-

[1] On appelle, en général, voussure une surface courbe qui sert à en raccorder deux ou plusieurs autres, formées par une suite de lignes droites ou de lignes courbes.

queront autant de sections de cette voussure, coupée par des plans droits tendans à un même axe, dont le point de projection est indiqué par la lettre C, Figure 1.

Il est essentiel de remarquer que les lignes droites qui forment cette arrière-voussure paraissent, dans la Fig. 1, concourir à un même centre C, tandis qu'elles tendent réellement à différens points d'un même axe dont ce centre n'est ici que la projection.

Le mur étant censé compris entre deux surfaces parallèles, son épaisseur, qui est partout la même, est indiquée par la ligne *a b*, perpendiculaire à *bf*, Fig. 4.

Sur cette ligne *bf* on portera la grandeur des lignes de division, tendantes au centre et comprises entre les arcs extrêmes FR*o* et EV*d*, 1, 11; 2, 12; 3, 13; 4, 14; 5, 15, etc., Fig. 1; de *b* en *o*, 11, 12, 13, 14, 15, etc., Fig. 4.

De tous ces points on mènera au point *a* des lignes qui donnent le rallongement de celles exprimées en raccourci, Fig. 1. Pour connaître la distance de ces points à ceux de la circonférence EV*d*, qui termine la voussure du côté de la feuillure, à une distance du point *b* égale au rayon EC, on élèvera une autre perpendiculaire à *bf*, prolongée en D. Cette perpendiculaire D*o* représente l'axe jusqu'à la rencontre duquel on a prolongé les lignes tirées du point *a*, qui indiquent les points *e*, *g*, *h*, *i*, *h*, *l*, *m*, *n*, *p*, *q*, de l'axe où chacune aboutit, et leur éloignement du point *a*, qui indique la circonférence EV*d*, Fig. 1.

Deuxième moyen.

Ces arrière-voussures se forment, comme nous l'avons dit, de lignes droites qui se raccordent avec des lignes courbes; mais comme ces lignes droites peuvent varier dans leur arrangement et leur direction, il doit en résulter des surfaces différentes.

L'arrière-voussure précédente était formée de lignes droites, perpendiculaires à la circonférence intérieure, et qui tendaient à différens points d'un même axe : dans celle-ci, les lignes droites sont obliques aux deux circonférences et tendent à un seul point, qui est le sommet d'un cône scalène, coupé par quatre plans, dont deux parallèles FM, GL, Fig. 7, pour les faces, formant deux sections circulaires; et deux autres qui divergent en plan, tel que BD, Fig. 8, pour l'un des embrasemens, et qui forment des sections hyperboliques IN, Fig. 7.

Arrière-voussure, dite de Montpellier.

Cette arrière-voussure, représentée par les Figures 10 à 13, Planche XXXVI, est comprise entre une demi-circonférence de cercle et une ligne droite. Elle se forme comme la précédente, dite de Marseille, dont nous venons de donner la description, et n'en diffère que par la ligne de sommité, qui est droite au lieu d'être courbe.

Autre manière de faire ces arrière-voussures.

Elle consiste à raccorder la demi-circonférence de cercle et la ligne droite (ou le segment) entre lesquelles la voussure est renfermée, par des courbes qui ne peuvent être que des quarts d'ellipse, pour se raccorder avec des tangentes inégales qui forment des angles droits.

La voussure peut être formée de cercles placées les unes devant les autres, comme l'indique la Figure 14; alors on se contente de trois quarts d'ellipse, dont un pour le raccordement du milieu, et les deux autres pour ceux des extrémités, contre les embrasemens des pieds-droits. On trace sur chacun des parallèles qui indiquent l'éloignement des cercles et les points où doivent se terminer les arcs de cercles, dont le centre se trouve sur la ligne du milieu, et le sommet sur les divisions correspondantes aux points où elles coupent le quart d'ellipse placé au milieu de la clef.

Pour produire une voussure plus régulière, on peut décrire un plus grand nombre de quarts d'ellipse; ils doivent être exprimés en plan, par des lignes tendantes au même point que celles des embrasemens.

Comme on connaît les deux demi-axes de chaque quart d'ellipse, il est facile de les décrire, soit par des ordonnées à un quart de cercle dont le rayon serait le petit demi-axe, soit par le moyen des foyers.

La correspondance des chiffres et des lettres, dans toutes les Figures, et leur numérotage, dans l'ordre des opérations, suffisent pour bien faire comprendre ce qui a rapport à la formation des voussures.

Dans les épures que nous donnons de ces deux pièces de trait, Planche XXXVII, ces voussures sont formées, pour la première, par une suite de lignes droites, en raccordement avec trois parties de cercle, et pour la seconde avec deux parties de cercle et une ligne droite. L'une de ces parties de cercle est l'arête de la feuillure représentée en

plan par EK, Fig. 3 et 6; en élévation par ESP, Fig. 1 et 4, et en profil par PE, Fig. 2 et 5 : l'autre est l'arc RTE, pour le développement de la porte, Fig. 1, 2, 4 et 5; et la troisième est l'arc RO, Fig. 1, ou la ligne droite RO, Fig. 4.

Il est facile de concevoir que si des points R, Figures 1 et 4, on mène RV perpendiculairement à l'arc ESP, les lignes droites qui forment la partie supérieure de la voussure doivent aller de l'arc ou ligne droite RO à l'arc SP; et celle de la partie inférieure de l'arc EV, Fig. 1 et 4, à l'arc RTD.

Pour déterminer la position de ces lignes, il faut diviser RO et VP en même nombre de parties égales, et les faire aller d'un point de division à l'autre, de même que les arcs RTE et EV.

Cette dernière méthode, simplifiée pour la pratique, diffère de celles qui précèdent en ce que les courbes qui terminent les embrasemens sont des arcs de cercle semblables à celui de la feuillure de la porte, au lieu d'être déterminés par l'intersection des rayons de la surface conique avec ces mêmes embrasemens.

Nous avons abrégé ici ce qui a rapport au développement et à la formation des surfaces coniques, en raison des détails où nous sommes entrés à ce sujet au IIe. Chapitre de la IIe. Section de ce Livre, page 87 à 91. Nous en déduirons encore de nouvelles conséquences au Livre VI, IIIe. Chapitre de la IIe. Section, où nous nous occuperons du revêtement de ces surfaces en menuiserie. Au reste, ces deux pièces de trait ne présentent aucune question nouvelle pour la stéréotomie, et dont on ne puisse prendre une intelligence complète par les divers développemens et projections figurés sur la même Planche. Ces indications doivent suffire pour toutes celles dont le tracé n'exige pas une instruction particulière.

Arrière-voussure de Saint-Antoine

Cette arrière-voussure, représentée par les Fig. 7, 8 et 9, est une espèce de niche dont l'objet est plutôt la décoration que l'utilité. C'est une imitation de celle qui avait été imaginée par Clément Metezeau, architecte de Louis XIII, pour décorer la face de la porte Saint-Antoine qui regardait la ville.

Cette voussure sert à raccorder un arc plein-cintre avec une plate-bande.

Pour le faire d'une manière plus agréable, on réunit les joints de l'arc avec ceux de la plate-bande par des arcs de cercle.

Pour le nombre des joints, il faudra diviser la circonférence F, *b*, *f*, *h*, O, et la ligne droite III, Fig. 7, en parties égales, en observant que cette dernière, dans son entier, doit contenir deux divisions de moins que la circonférence.

Pour trouver les centres de la courbure des joints, on tirera les droites *hi*, *fn*, *bm*, sur le milieu desquelles on élèvera des perpendiculaires qui rencontreront IH prolongée aux points 1, 2 et 3, qui seront les centres cherchés.

Relativement à la courbure de la voussure qui doit varier au droit de chaque joint, on commencera par celle qui passerait par le milieu de la clef, qui doit servir à déterminer les autres.

Cette courbe dépend de l'épaisseur HF, et de la hauteur FO, Fig. 8. Elle peut être un quart de cercle, si HF est égale à FO; celle représentée par cette Figure est un quart d'ellipse dont les deux demi-axes sont FO et FH : on peut le tracer ou par le moyen des ordonnées à un quart de cercle dont FH serait le rayon, ou par le moyen des foyers. Ce dernier moyen, qui est plus simple, est celui que nous avons suivi. Ayant ensuite développé les arcs *hti*, *fsn*, *brm*, on les a pris pour les grands axes des quarts d'ellipse qui indiquent son recreusement, tracés sur un panneau flexible.

Afin de ménager la pierre, on peut ne former d'abord que la surface droite indiquée par les lignes *nf*, *fh*, *hi* et *in*, Fig. 17; et pour achever, au lieu de quart d'ellipse, on peut aussi employer des segmens qui y correspondent.

Il est inutile de dire qu'à la place d'un arc en plein cintre on peut employer, pour former cette arrière-voussure, des arcs surhaussés ou surbaissés, et qu'on peut aussi faire les joints droits dans la partie de la voussure, au lieu de les faire courbes; mais ils ne produisent pas un aussi bon effet, et de plus il en résulte des angles aigus qui dérogent aux règles de l'appareil et de la solidité.

CHAPITRE TROISIÈME.

DES VOUTES EN BERCEAU QUI SE PENÈTRENT.

La rencontre d'une voûte en berceau avec une autre, forme dans celle qui est pénétrée, une espèce d'évidement qu'on appelle lunette, et qui est produit par cette rencontre. La figure de cette lunette, et le raccordement des joints qui se réunissent à l'arête courbe qui la termine, varient en raison de ce que les berceaux ont leurs diamètres et leurs cintres différens, et de ce qu'ils se rencontrent à angles droits ou obliquement, soit en plan ou en élévation. Ces modifications sont susceptibles de donner une infinité de figures différentes; mais comme la manière de les développer est fondée sur un même principe, il suffit d'en faire l'application à quelques exemples.

Il faut remarquer que dans toutes sortes de berceaux qui se rencontrent, qui se pénètrent, ou qui sont terminés par des faces qui ne sont pas droites et perpendiculaires à leur axe, il n'y a de difficulté que dans les parties qui forment leurs faces ou leur réunion. Le surplus des berceaux, quelle que soit leur position, devient un appareil ordinaire.

En parlant du développement du cylindre oblique, page 86 et Fig. 1, Planche XXVI, et des arcs représentés dans les Planches XXXIII, XXXIV et XXXV, pages 125 à 131, nous avons fait voir que l'obliquité de leurs côtés, et des lignes tracées sur leurs surfaces, se mesurait d'après un plan perpendiculaire à leur axe; il en est de même des faces des voûtes en berceau, et des arêtes formées par la rencontre des surfaces des berceaux qui se pénètrent.

Voûte en berceau circulaire ou plein cintre, pénétrée par une autre, d'un moindre diamètre, qui la rencontre perpendiculairement ou à angles droits.

Les Fig. 1, 2 et 3 de la Planche XXXVIII représentent les plan, coupe, élévation et profil de ces deux berceaux.

La projection en plan des joints du grand berceau est faite d'après son cintre ou arc droit B, 1, 2, 3, 4, G, de même que celui du petit berceau *p*, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *q*.

La circonférence de chacun de ces arcs étant divisée en un même nombre de parties égales, il en résulte que les rangs de voussoirs du

petit berceau ont moins de largeur que ceux du grand; c'est ce qui a nécessité les raccordemens *am*, *bk*, *ch*, *dg*, *ei*, *fl*, par des coupes formant crossettes, comme on le voit à la Fig. 3. Les parallèles abaissées de tous les points de ces raccordemens donnent leurs projections en plan, Fig. 1, marquées des mêmes lettres.

La projection de l'arête AHB, formant lunette, a été déterminée par les parallèles abaissées des points H, *c*, *b*, *a*, B, du profil Fig. 2, lesquelles, à cause de la position perpendiculaire du petit berceau, donnent aussi les points *d*, *e*, *f*, A. Cette arête forme une courbe à double courbure que Frézier désigne sous le nom de *cycloïmbre*.

La Fig. 4 fait voir le développement des parties des douelles du petit berceau comprises entre la ligne droite *p*, *q*, qui représente la projection de l'arc droit, et la ligne courbe formant l'arête de la lunette. Ce développement ne diffère de la projection en plan, Fig. 1, que parce que les largeurs des douelles et des joints y sont représentées dans toute leur étendue; d'ailleurs toutes les distances à la ligne *p*, *q* sont les mêmes.

La Fig. 5 représente, en perspective, la forme de la clef de la lunette, qui avance dans le grand berceau.

La Fig. 6 est celle des voussoirs appelés contre-clefs, et la Fig. 7 représente un des coussinets ou premier voussoir, comprenant la naissance des deux berceaux qui se rencontrent en B. On a indiqué pour chacun de ces voussoirs la masse dans laquelle il doit être compris, et les faces qui doivent être préalablement faites, pour y appliquer ensuite les panneaux de douelles et de joints qui doivent servir à les tracer.

Pour faciliter davantage l'intelligence des opérations que nous venons d'indiquer, on a marqué des mêmes chiffres et des mêmes lettres toutes les parties correspondantes.

Berceau droit, semblable au précédent, pénétré par un autre de moindre diamètre qui le rencontre obliquement.

Le plan de projection Fig. 8, la coupe et le profil Fig. 9 de cette réunion de berceaux, ne diffèrent de ceux de la précédente que par la position oblique du petit, qui donne pour l'arête de la lunette une courbe formant une espèce d'arc rampant en plan et en élévation, Fig. 8 et 10

Le plan Fig. 8, sur lequel on a tracé la projection des joints, a été

fait par le moyen des profils, ou arcs droits, perpendiculaires à la direction de chaque berceau, et divisés en voussoirs et portant la forme de leur extrados, savoir : B, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *q* pour le petit, et L, 4, 3, 2, 1, B pour le grand, Fig. 9. On a indiqué dans cette figure la coupe du petit berceau, pour avoir l'avancement de chacun de ces joints dans le grand, afin de tracer en plan la projection de l'arête de la lunette, par le moyen des perpendiculaires abaissées jusqu'à la rencontre des joints du petit berceau tracés sur le plan.

Cette arête, formée par la rencontre des deux berceaux, donne une courbe à double courbure, appelée par Frézier *ellipsimbre*, parce que sa hauteur est moindre que la moitié du diamètre qui lui sert de base. Cette courbe, de même que le cycloïmbre dont il a été parlé à l'occasion de la pièce précédente, ne peut être tracée dans son état naturel que sur une surface courbe, semblable à celle du grand ou du petit berceau. Ainsi l'élévation de cette courbe, exprimée par la Fig. 10, n'est qu'une projection verticale rapportée à la ligne AB, qui ne la représente qu'en raccourci.

On peut encore tracer cette courbe dans toute son étendue sur la surface développée du petit berceau, c'est-à-dire sur les panneaux de douelles, et c'est ainsi qu'elle s'effectue, en appliquant sur chaque voussoir, quand il est recreusé, le panneau de douelle qui lui correspond; ce panneau doit être formé en carton ou de quelqu'autre matière flexible.

Le développement des panneaux de douelle et de joints Fig. 12, a été fait par le moyen de la ligne droite ou directrice B*q*, égale à la circonférence B, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *q* de l'arc droit du petit berceau; par ces points qui indiquent la division des douelles, on a mené des perpendiculaires sur lesquelles on a porté en dessus et en dessous de la directrice B*q*, les longueurs $a^{\prime}r$ et $ra^{\prime\prime}$; $b^{\prime}s$ et $sb^{\prime\prime}$; $c^{\prime}t$ et $tc^{\prime\prime}$; $d^{\prime}u$ et $ud^{\prime\prime}$; *ev* et $ve^{\prime\prime}$; $f^{\prime}x$ et $xf^{\prime\prime}$, prises sur le plan de projection Fig. 8, d'après la ligne B*q*.

On a opéré de même pour les panneaux de joints; ainsi, après avoir pris leurs largeurs sur l'arc primitif du berceau indiqué par *a*, 13; *b*, 8; *c*, 9; *d*, 10; *e*, 11, et *f*, 12, on a porté leurs longueurs depuis la ligne B*q*, indiquées sur la projection du petit berceau par les lignes ponctuées *n*, 14 et 14, $9^{\prime\prime}$; *h*, 15 et *g*, 16; *o*, 17 et 17, $10^{\prime\prime}$, etc. et le surplus comme il a été dit pour la pièce précédente. Il ne faut pas oublier que ce développement n'est que l'extension en lar-

geur de la projection horizontale du petit berceau représentée par la Figure 8.

La Fig. 13 représente le premier voussoir ou coussinet qui répond à l'angle obtus, avec la masse de pierre dans laquelle il est compris. Tous les angles sont indiqués par les mêmes lettres que sur l'épure ou projection horizontale Fig. 8.

OBSERVATION.

L'effet désagréable qui résulte de la rencontre de deux berceaux obliques, sert à confirmer ce que nous avons dit plus haut, dans cet ouvrage, savoir : que *ce qui choque par la forme ou la disposition est presque toujours contraire à la solidité.* Ainsi, dans la pièce que nous venons de détailler, l'obliquité donne lieu à des angles inégaux qui, indépendamment de l'irrégularité de leur forme, occasionent des efforts qui ne se correspondent pas, et des angles aigus vicieux.

La Figure 14 indique la manière de corriger cette irrégularité et de former une construction plus solide, en supprimant l'angle aigu, au moyen d'une partie de berceau ACBD perpendiculaire au grand cintre, et qui se raccorderait avec la partie oblique, lorsqu'on ne peut pas éviter ces pénétrations irrégulières.

CHAPITRE QUATRIÈME.

DES DESCENTES.

Lorsque l'obliquité d'un berceau qui en rencontre un autre est dans le sens de la hauteur, on lui donne le nom de descente. Telles sont les voûtes qu'on pratique au-dessus des escaliers qui descendent dans les souterrains voûtés, ou sous les gradins et rampes d'escalier.

Descente droite rachetant un berceau.

On a représenté par les Fig. 1 et 2, Planche XXXIX, un berceau en descente, qui en rencontre un autre plus grand et horizontal, à angles droits.

Les épures ou projections horizontales de cette pièce de trait sont faites par les mêmes opérations que les précédentes.

Mais il faut observer que la projection du petit berceau Figure 1, qui dans les exemples précédens donnait les véritables longueurs des joints, ne les présente ici qu'en raccourci, à cause de la pente de ce berceau, exprimée par le profil, Fig. 2. En conséquence, dans ce cas-ci, le développement des panneaux de douelle et de joint est une extension en longueur et en largeur de leur expression dans la projection horizontale Fig. 1.

Les vraies largeurs ont été prises sur les arcs droits B, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, A pour le petit berceau, qui sont les mêmes que sur les Figures 4 et 5; et sur l'arc G, 4, 3, 2, 1, pour la moitié du grand, Fig. 3. Quant aux longueurs, elles sont toutes prises sur le profil, Fig. 2.

La Fig. 7 représente la forme du premier voussoir ou coussinet, correspondant à l'angle B, Fig. 1.

La Fig. 8 est celle du troisième voussoir;

La Fig. 9, celle du quatrième ou contre-clef, et la Fig. 10 la forme de la clef.

D'après tout ce qui a été expliqué pour les deux pièces précédentes, les lettres et chiffres semblables indiquant ici, dans chaque Figure, les parties correspondantes, nous nous dispenserons d'une plus longue explication. D'ailleurs, si l'on éprouvait quelque embarras, il serait à propos de revoir ce qui a été dit au Chapitre Ier. de la IIe. Section de

ce Livre, de la page 75 à 81, parce qu'on y trouve tous les principes sur lesquels sont fondées les opérations de l'art du trait ou des épures tant pour les projections que pour les développemens.

Descente biaise rachetant un berceau.

Les Fig. 11 et 12 représentent la projection horizontale et le profil d'un berceau qui a une double obliquité, par rapport à celui qu'il rencontre. Il résulte de cette position, que l'on ne peut avoir sur l'une ni sur l'autre de ces Figures les véritables grandeurs qu'elles représentent.

C'est pourquoi on a été obligé de faire un second profil Fig. 13, sur la face AD, pour avoir les longueurs de joints, afin de former le développement des douelles, Figure 15, dont les largeurs sont données, comme dans les pièces précédentes, par les arcs droits et les arcs de face.

Il est bon d'observer que le grand berceau étant oblique à cette projection, le profil de son cintre, représenté dans la Fig. 12 par l'arc HB, se trouve exprimé dans ce profil par des portions d'ellipses semblables, déterminées par des perpendiculaires élevées de tous les points où la projection des joints en plan coupe la ligne AB, supposée horizontale, et continuées jusqu'à la rencontre des joints du nouveau profil.

Les Fig. 17, 18 et 19 indiquent la forme des trois premiers voussoirs répondant à l'angle A, avec la masse dans laquelle ils sont compris, ainsi que les joints et les faces sur lesquels doivent être appliqués les panneaux de douelle, de face et de joint.

On a, comme dans les pièces précédentes, indiqué par les mêmes chiffres et les mêmes lettres les parties qui se correspondent, en sorte qu'il suffit de les examiner avec attention pour bien les entendre, indépendamment d'aucune explication.

OBSERVATION.

Les angles aigus qui résultent de la double obliquité du petit berceau, et l'irrégularité de l'arête formée par la rencontre des deux berceaux, nous engage à répéter ce qui a été dit à l'occasion du berceau biais de la Planche précédente Fig. 8; c'est-à-dire qu'il faudrait supprimer les angles aigus, encore plus vicieux dans cette pièce que dans l'autre, à

cause de la pente du petit berceau, qui rejette sur ces angles une plus grande charge.

Si l'on a bien entendu cette pièce de trait, qui est une des plus compliquées parmi les pénétrations de voûtes en berceau, on pourra facilement résoudre toutes les difficultés du même genre, quelle que soit la forme en plan et en élévation des berceaux qui se rencontrent; érigés sur des murs droits ou circulaires en plan; en plein cintre, surhaussés, ou surbaissés; formés par des arcs de cercles, des ellipses, ou autres courbes quelconques, prises pour leur arc droit, et dont on trouvera le raccourci ou le rallongement par les procédés que nous avons indiqués pour les pièces précédentes.

CHAPITRE CINQUIÈME.

DES VOUTES D'ARÊTE.

Deux voûtes en berceau de même hauteur de cintre qui se croisent, forment à leur réunion des angles saillans qui ont fait donner à cet assemblage le nom de voûte d'arête. Comme un même berceau peut être croisé par plusieurs autres espacés également ou inégalement, parallèles entre eux ou obliques, de niveau ou inclinés, il en résulte qu'un même berceau peut présenter une infinité de combinaisons différentes, et qui peuvent encore être augmentées par la variété des courbes qu'on peut employer pour cintre primitif; mais il faut observer que dans ce nombre infini de combinaisons, ce ne sont jamais que les arêtiers, ou parties communes aux berceaux qui se croisent, qui présentent quelques difficultés, et que d'ailleurs la manière d'opérer est la même pour tous les cas possibles. Trois exemples suffiront pour guider dans les opérations de ce genre, et faire connaître les combinaisons qu'il faut éviter, lorsqu'on veut réunir la régularité et la solidité.

Voûte d'arête sur un plan rectangulaire.

Ce premier exemple de voûte d'arête représenté par les Fig. 1, 2 et 3 de la Planche XL, est formé par deux berceaux de même hauteur de cintre, et de diamètres différens, qui se croisent à angles droits.

Pour éviter le mauvais effet qui résulte des cintres surhaussés, on a pris pour cintre primitif celui du petit berceau formé par un quart de circonférence de cercle AEB, Fig. 2, qui donne des cintres elliptiques surbaissés DEF, et C*t*H pour le grand berceau, et pour les arêtes formées par le croisement de ces berceaux.

Il faut remarquer que lorsque les berceaux ont une même hauteur de cintre, la projection en plan des arêtes IC, IG, Fig. 1, est toujours une ligne droite, parce qu'on suppose chaque lunette formée par des parties de cylindres coupés obliquement par des plans verticaux qui se réunissent en I, où ils forment un angle CIG.

Si le plan formé par le croisement des deux berceaux est un carré, les quatre angles des lunettes sont droits.

Si le plan est un rectangle, comme dans la voûte dont il s'agit, les

angles des parties qui se joignent sont complémens l'un de l'autre, c'est-à-dire que leur somme est égale à deux angles droits; en sorte que l'angle de la lunette qui répond au grand berceau est obtus, et l'autre d'autant plus aigu, que les côtés du rectangle diffèrent davantage.

La projection des joints de cette espèce de voûte, Fig. 1, se fait en abaissant, des points de division des arcs droits du petit et du grand berceaux, des parallèles à l'axe, jusqu'à la rencontre des diagonales, indiquant les arêtes des lunettes.

La voûte dont il s'agit dans cet exemple étant régulière, on n'a fait la projection que d'une moitié, l'autre devant être parfaitement semblable.

Il faut remarquer que ce sont les projections des joints de l'intrados ou douelle inférieure de l'arc droit du petit berceau, qui donnent celles des joints du grand berceau; parce que la régularité et la symétrie de l'appareil exigent que les joints de chaque partie de berceau soient parallèles à leur axe, et qu'ils se rencontrent sur la projection des arêtes qu'ils forment par leur réunion.

Sur ces derniers joints prolongés au delà de la ligne DF, qui représente le diamètre du grand berceau, on a porté de droite et de gauche de l'axe EI la grandeur des ordonnées du quart de cercle EB formant l'arc droit du petit berceau, savoir, 1 *b* en 5 *f* et 12 *n*; 2 *c* en 6 *g* et 11 *m*; 3 *d* en 7 *h* et 10 *l*; 4 *e* en 8 *i* et 9 *k*; ensuite par les points D, *f*, *g*, *h*, *i*, *k*, *l*, *m*, *n*, F, on a tracé une demi-ellipse qui est la courbe d'intrados du grand berceau. Pour avoir celle de l'extrados, on a abaissé des points 13, 14 et 15 de l'arc droit du petit berceau, d'autres parallèles à l'axe jusqu'à la rencontre de la diagonale IC aux points 17, 18, et C, par lesquels on a mené des parallèles à IK, sur lesquelles on a porté, à partir du diamètre DF, savoir, B 15 de D en 19 et de F en 24; 25, 14 de 27 en 20 et de 30 en 23; 26, 13 de 28 en 21 et de 29 en 22; et par les points 19, 20, 21, 22, 23 et 24, on a tracé la courbe d'extrados correspondante au grand berceau.

L'usage ordinaire pour tracer les coupes de cette espèce de voûte est de tirer les lignes des points 19, *g*; *h*, 20; *i*, 21; *k*, 22; *l*, 23 et *m*, 24, correspondans de l'intrados à l'extrados de la voûte, mais il en résulte que ces coupes qui tendent toutes au point K, milieu de DF, ne sont pas perpendiculaires à la courbe d'intrados DEF, qui est une ellipse; et qu'au lieu de former des angles égaux, elles produisent des angles

aigus et obtus, ce qui deroge au principe général de la coupe des pierres, et devient d'autant plus vicieux, qu'il y a plus de différence entre les diamètres des deux berceaux. Cette pratique vicieuse, qui se trouve indiquée dans plusieurs ouvrages qui traitent de la coupe des pierres, provient de ce qu'on suppose que le plan vertical qui coupe le cylindre selon les diagonales AI et IB, doit aussi couper l'épaisseur de la voûte dans la même direction. C'est cette supposition qui donne des joints qui ne sont pas perpendiculaires à la courbe rallongée du berceau elliptique.

Pour éviter cette disposition vicieuse, il faut qu'il n'y ait que les joints apparens de l'intrados qui se rencontrent sur les diagonales, et donner, d'après ces lignes, à chaque berceau la coupe qui lui convient. On satisfait par ce moyen à la régularité apparente, et à la solidité qui doit toujours être l'objet essentiel.

Il résulte de cette dernière disposition, que la projection de l'arête rentrante de l'extrados ne répond pas exactement à l'arête saillante de l'intrados; mais ce léger inconvénient, qui ne peut s'apercevoir que sur l'épure, n'est rien en raison de celui de n'avoir pas des joints perpendiculaires à la courbe.

On a exprimé dans la projection CDIK, Fig. 1, et le profil correspondant DEL, Fig. 3, l'usage adopté pour les renvois des joints d'extrados; mais dans la projection IGFK et le profil FEL, on a fait les coupes du berceau elliptique perpendiculaires à son cintre. C'est cette disposition qu'il faut toujours suivre pour le développement des voussoirs formant arêtiers, qui, comme nous l'avons dit, sont les seules parties des voûtes d'arête qui présentent quelques difficultés

Première manière de tracer les pierres par équarrissement.

On tracera d'abord sur la projection en plan BAICDK, Fig. 1, la disposition des voussoirs formant les arêtiers, et la masse carrée dans laquelle ils doivent être contenus; on l'indiquera de même sur les deux profils qui y correspondent : cela fait, pour tracer les pierres qui doivent former ces voussoirs, celui, par exemple, indiqué en plan par le rectangle $td^{11}Ch^{1}$ et en élévation Fig. 2, par d^{1}, 38, 39, 40, et Fig. 3, par 41, 42, 43, 44; après avoir choisi une pierre assez grande pour que ce voussoir puisse y être compris, on fait dresser la surface inférieure sur laquelle on trace le rectangle d^{11}, t, h^{1}, C; ensuite on fait tailler d'équerre

à cette surface, les joints indiqués par les lignes Cd'' et Ch'. Sur le joint d''C, on trace avec un panneau ou autrement, la face 14, d, c, 15 du profil Fig. 2, et sur le joint C, h' la face g, 19, 20, h du profil Fig. 3. Abattant ensuite la pierre superflue, on forme les surfaces d'intrados et d'extrados, qui doivent être terminées en ligne droite dans le sens de $t h'$ et de $t d''$, et courbe, sur les deux autres côtés. La rencontre de ces deux surfaces formera naturellement en dessous l'arête d'intrados saillante, et en dessus celle d'extrados rentrante, ainsi qu'on le voit par la Fig. 4.

Pour la clef, Fig. 5, après avoir fait la surface de dessous provisoirement droite dans toute son étendue, on y tracera le rectangle x, y, z, z', les diagonales et les lignes de milieu qui se croisent au point I; on fera à l'équerre les quatre joints du tour, et sur les deux indiqués par les parallèles x, z', y, z, on tracera la face de la clef du berceau circulaire, Fig. 2; et sur les deux autres faces celle du berceau elliptique, d'après le profil, Fig. 3; abattant ensuite, comme nous l'avons dit pour le voussoir précédent, la pierre superflue, et formant les surfaces indiquées, on aura exécuté la clef, comme l'indique cette figure.

Les autres voussoirs se tracent et se forment de la même manière.

Autre maniere, par les panneaux de douelle et les beuveaux d'angle.

La méthode précédente a l'avantage d'être facile et de donner des résultats très-justes; mais elle occasione beaucoup de perte dans la pierre, qu'il est essentiel de ménager dans tous les cas. On opère d'une manière plus économique en faisant usage, pour le voussoir c', d'', t, h', g', u', par exemple, des douelles plates indiquées par les lignes droites d, c, Fig. 2, et g, h, Fig. 3, au lieu des retombées d, d', c; et g, 41, h. Ces douelles sont représentées en raccourci dans la projection en plan, Figure 1, où elles sont indiquées par les lettres u, c', d'', t; et u, g', h', t formant par leur réunion une arête en tu.

Pour trouver l'angle que forment ces deux douelles, mesuré sur la ligne 33 h' perpendiculaire à tu, il faut tirer sur la partie de la courbe d'arêtier $t'u'$, répondant à tu, une ligne droite $t'u'$, et du point t une parallèle indéfinie à IC; après avoir prolongé 33 h' jusqu'à la rencontre de cette parallèle au point 34, de ce point on abaissera sur $t'u'$ une perpendiculaire 34, 35, qu'on portera de 36 en 37; tirant ensuite les li-

gnes 33, 37 et 37, h^{1}, elles exprimeront l'angle que doivent former les deux douelles au droit de l'arête tu.

Pour tracer la pierre qui doit former ce voussoir, on lèvera avec une fausse équerre, ou *beuveau*, (*c'est-à-dire deux règles assemblées à moitié bois et clouées ensemble, pour former un angle quelconque*), l'angle 33, 37, h^{1}; ayant ensuite pris une pierre de grandeur convenable, Fig, 6, on tracera au milieu une ligne droite indéfinie pour représenter tu : ensuite, avec le beuveau posé perpendiculairement à cette ligne, on formera l'angle de la réunion des douelles plates. Sur les deux faces qui en résulteront, on placera les panneaux de ces douelles développées, en sorte qu'elles se joignent sur l'arête $t^{1}u^{1}$.

Les douelles plates étant tracées par le moyen de ces panneaux, ou autrement, on fera le long des lignes $g^{11}h^{11}$ et $d^{11}c^{11}$ prolongées, deux joints qui forment des angles droits avec les douelles. Ces joints étant faits, on y appliquera les panneaux de tête; savoir, 14, d, c, 15, sur $d^{11}c^{11}$ et 19, g, h, 20 sur $g^{11}h^{11}$; on finira le voussoir en abattant la pierre superflue d'après le tracé des panneaux, ainsi que l'indique cette Figure.

Le développement des panneaux de douelles peut se faire comme il a été expliqué pour les pièces précédentes; en prenant leur largeur sur les arcs Fig. 2 et 3, et les longueurs sur l'épure ou projection horizontale Fig. 1, d'après les lignes GO et GC prises pour directrices. Sur le développement entier, on remarque celui des parties qui forment les arêtiers. On peut aussi les disposer comme on le voit Fig. 7.

Pour faire le développement de ces arêtiers, on a tiré sur leur projection, Fig. 1, d'une part, les diagonales qk^{11}, pl^{11}, om^{11}, Gn^{11}, et de l'autre, qe^{11}, pd^{111}, oc^{11} et Gb^{11}. Considérant ensuite que ces diagonales raccourcies forment un des côtés d'un triangle rectangle dont l'autre côté est la différence de la hauteur des points G, o, p, q, à celle des points n^{11}, m^{11}, l^{11}, et k^{11}, d'une part, et b^{11}, c^{11}, d^{111}, e^{11} de l'autre, en sorte que la véritable grandeur de ces diagonales est exprimée par l'hypothénuse de chacun de ces triangles; il en résulte que si on porte qk^{11} sur le cintre Fig. 3 de g^{1} en q^{11}, l'hypothénuse kq^{11} sera la grandeur développée de qk^{11}, Fig. 1; celle de l'arête rq ou de son égale st, est exprimée par le côté $s^{1}t^{1}$, inscrit dans la courbe de l'arêtier.

Les côtés rk^{11}, ql^{1} étant exprimés en plan dans leur grandeur, on a tout ce qu'il faut pour tracer la douelle $rql^{1}k^{11}$ dans toute son étendue; ayant tiré une ligne indéfinie rG Fig. 7, on portera dessus la

grandeur développée de l'arête rq égale à $s^{\prime} t^{\prime}$. Ensuite, pour la partie correspondante à la grande lunette, du point r comme centre et $rk^{\prime\prime}$ pour rayon, on décrira un arc de cercle, qu'on recroisera avec un autre décrit du point q avec un rayon égal à la diagonale $qk^{\prime\prime}$ développée, prise sur le cintre Fig. 3, de k en $q^{\prime\prime}$. Du point q avec $ql^{\prime\prime}$ pour rayon, pris sur la projection, Fig. 1, on décrira un arc de cercle qu'on recroisera avec un autre décrit du point $k^{\prime\prime}$, Fig. 7, avec un rayon égal à la corde kl du cintre de la Figure 3.

Pour la partie correspondante à la petite lunette, on décrira du point r comme centre Fig. 7, et $re^{\prime\prime}$ pour rayon, pris sur la Fig. 1, un arc qu'on recroisera avec un autre décrit du point q, et un rayon égal à la diagonale $qe^{\prime\prime}$ développée, prise sur le cintre Fig. 2, de e en $q^{\prime\prime\prime}$; ensuite du point q comme centre et $qd^{\prime\prime}$ pour rayon, pris sur la projection Fig. 1, on décrira un arc de cercle qu'on recroisera avec un autre décrit du point $e^{\prime\prime}$ avec un rayon égal à la corde de du cintre Fig. 2.

On tracera les autres panneaux de douelle, Fig. 8, 9 et 10, en faisant les côtés $qd^{\prime\prime\prime}ql^{\prime\prime}$, $pc^{\prime}pm^{\prime}$, $pc^{\prime\prime\prime}pm^{\prime\prime}$, $ob^{\prime}on^{\prime}$, $ob^{\prime\prime}on^{\prime\prime}$, G 46 et G 45 égaux à ceux de la projection, Fig. 1; les diagonales $pl^{\prime\prime}$, $om^{\prime\prime}$, G$n^{\prime\prime}$ égales à $lp^{\prime\prime}$, $mo^{\prime\prime}$, nG$^{\prime}$ du cintre, Fig. 3, et les diagonales $pd^{\prime\prime\prime}$, $oc^{\prime\prime}$ et G$b^{\prime\prime}$ égales à $dp^{\prime\prime\prime}$, $co^{\prime\prime\prime}$ et bG$^{\prime\prime\prime}$ du cintre, Fig. 2.

Les côtés $m^{\prime}l^{\prime\prime}$, $n^{\prime}m^{\prime\prime}$ et 45 $n^{\prime\prime}$ égaux aux cordes lm, mn, nF du cintre Fig. 3, et les côtés $d^{\prime\prime\prime}c^{\prime}$, $c^{\prime\prime}b^{\prime}$, $b^{\prime\prime}$ 46 égaux aux cordes dc, cb et bB du cintre Fig. 2.

Voûte d'arête irrégulière, sur un quadrilatère dont les côtés sont inégaux.
(Figure 11.)

Le cintre primitif d'où dérivent tous les autres cintres de cette voûte est une demi-circonférence de cercle, Fig. 12, placée perpendiculairement à l'axe de la lunette qui répond au plus petit côté. Ce cintre sur lequel on a déterminé la division des voussoirs et la forme d'extrados, donne des ellipses plus ou moins allongées pour chaque face, représentées par les Fig. 13, 14, 15 et 16, et pour les arêtes formées par la rencontre des quatre parties de berceaux, Fig. 11.

On a déterminé la direction de ces berceaux en divisant chaque côté en deux parties égales, et tirant du centre I, où les diagonales qui

représentent les arêtiers se croisent, les lignes droites IE, IF, IG et IH à chacun de ces milieux.

Les joints apparens de l'intrados, indiquant les rangs de voussoirs, sont représentés dans cette Figure, ou projection, par des parallèles aux lignes IE, IF, IG, IH. On y a indiqué aussi ceux des voussoirs formant les arêtiers et ceux de la clef, par des lignes parallèles à chacune des faces, afin de rendre l'irrégularité du plan moins choquante.

Les Figures 17, 18, 19 et 20 expriment les développemens des douelles plates des voussoirs de l'arêtier IC, et les Figures 21, 22, 23 et 24 ceux des voussoirs de l'arêtier ID.

Ils ont été faits par la méthode détaillée pour la voûte précédente, en cherchant le rallongement des diagonales et des cordes représentées en raccourci dans cette projection, telles que $d^{IIIII} c^{IIII}$, $l^3 d^{IIIII}$, $l^3 d^{II}$ et $c^{II} d^{II}$ pour le voussoir indiqué par les lettres M^1, N^1, (*qui se trouvent aussi sur les cintres*, Fig. 13 et 14), sur les faces correspondantes de ce voussoir, marquées des mêmes lettres sur le cintre de l'arêtier, savoir, pour M, $d^3 c^4$ pour $d^{IIIII} c^{IIII}$, $d^4 l^4$ pour $d^{IIIII} l^3$; et pour N, $c^1 d^{II}$, pour $c^{II} d^{II}$, $l^3 d^{II}$ pour $l^3 d^{III}$, et $l^1 m^1$ de l'arêtier pour $l^3 m^3$; et ainsi des autres.

On peut se dispenser de ces développemens, en traçant les voussoirs par demi-écarrissemens; ainsi, pour le voussoir représenté par la Fig. 25, on suppose qu'on a taillé un prisme, ayant pour base la projection indiquée par les lettres L^1K^1; on y a marqué la masse de pierre dans laquelle le voussoir est compris; elle est tracée aussi sur la projection et les cintres Fig. 14 et 15, qui représentent deux faces de ce voussoir marquées LK.

Dans cette Figure, ainsi que dans toutes les autres qui ont rapport à cette voûte, les parties correspondantes sont indiquées par les mêmes lettres, de manière que l'étude seule des figures suffit, d'après ce que nous venons de dire, pour l'intelligence de toutes les parties de cette voûte.

Voûte d'arête sur hexagone régulier.

La Fig. 1 de la Planche XLI présente l'épure ou projection horizontale de cette voûte. On voit qu'elle est composée de six parties de berceaux, coupés de manière à former des lunettes semblables, qui se réunissent au point G. La direction de ces berceaux est perpendiculaire aux côtés du polygone auxquels ils répondent, en sorte que les axes se correspondent de deux en deux sur les côtés opposés.

Les lignes de projections qui indiquent les rangs de voussoirs sont parallèles à ces axes, et se rencontrent sur les diagonales ou rayons qui représentent les arêtes, sur lesquelles elles forment des angles de 60 degrés, disposés régulièrement autour du centre G, répondant à une seule clef, dont la figure est semblable au plan de la voûte. Ces projections ont été faites d'après le cintre primitif, Fig. 2, qui est le même pour toutes les lunettes à cause de la régularité de la voûte.

La Fig. 3 présente une coupe de cette voûte sur la ligne HGI, qui fait voir le cintre des arêtiers, la lunette K en face et les deux L et E vues de côté, ou en raccourci.

Il faut remarquer que dans cette voûte, de même que dans les précédentes, il n'y a que la clef et les voussoirs formant les arêtiers qui présentent quelque difficulté pour l'exécution, les autres ne doivent être considérés que comme des voussoirs de berceaux ordinaires.

Comme on peut se dispenser des panneaux des douelles développées pour tracer les pierres qui doivent former les voussoirs des arêtiers, on ne les a pas faits; d'ailleurs on opère avec plus de précision en se servant de leur projection en plan.

Pour la clef centrale représentée par la Fig. 7, il faudra commencer par lever le panneau de sa projection en plan marqué G, Fig. 1, et celui d'une de ses faces ou joints d'aplomb N, Fig. 2; ayant ensuite fait dresser une des faces de la pierre, on y appliquera le panneau G pour y tracer son contour, sans les évidemens : d'après ce tracé, on fera tailler les joints du tour perpendiculairement à la face dressée, qui n'est que préparatoire. Ces joints étant faits, on y appliquera le panneau N pour tracer leur profil, c'est-à-dire les courbes d'extrados et d'intrados; on formera ensuite cette clef telle qu'elle est représentée à moitié dans la partie supérieure de la Fig. 7, en abattant la pierre en dehors des lignes tracées.

Il est bon de remarquer que d'après le genre d'appareil qu'exige cette voûte, les joints autour de la clef centrale étant tous d'aplomb, elle ne se trouve soutenue que par les angles aigus 1, 2, 3 et 4 des contre-clefs, susceptibles d'être brisés par le moindre effort. On ne peut renforcer les coupes de ces angles, qu'en supprimant les clefs particulières *o*, *o* des berceaux qui répondent à la clef centrale; mais il arrive alors que les angles aigus 1, 2, 3, etc., des arêtiers formant contre-clefs, ne se trouvant plus contenus par les clefs particulières,

deviennent encore plus fragiles. Ainsi, il vaut mieux, dans les voûtes d'arête de ce genre, prolonger la longueur des clefs particulières au delà des angles aigus des arêtiers formant contre-clefs, afin de donner à la clef centrale une coupe tout autour, comme on l'a marqué pour une moitié, dans la projection, Fig. 1, par les chiffres 7, 8, 9 et 10. Ce dernier moyen est préférable, d'autant plus que les angles des arêtiers sont plus aigus, soit à cause du nombre des côtés du polygone formant le plan de la voûte, soit par leur inégalité, comme dans les voûtes rectangulaires ou losanges, dont les côtés contigus diffèrent beaucoup en grandeur.

Il faut encore remarquer que dans ces sortes de voûtes, chaque partie de berceau étant maintenue par sa clef particulière, l'espace occupé par la clef centrale pourrait être vide, sans nuire à leur solidité; et que les coupes que l'on propose de donner à cette clef n'ont d'autre objet que de l'empêcher de glisser, et n'ajoutent rien à la solidité de l'ensemble.

Les autres voussoirs d'arêtier représentés par les Fig. 4, 5 et 6, sont tracés par demi-écarrissement. On suppose qu'on a commencé par faire tailler des prismes dont la base est semblable à leur projection en plan, prise sur la Fig. 1; on applique ensuite sur les faces ou joints qui doivent être d'aplomb, les parties du cintre primitif, Fig. 2, qui leur correspondent

Ces panneaux seuls suffisent, d'après la première préparation, pour tracer et développer les autres faces des pierres qui doivent former ces voussoirs.

On a représenté, comme dans les exemples précédens, les angles de chacun de ces voussoirs, par des lettres et des chiffres qui répondent aux Fig. 1, 2 et 3, afin d'en faciliter l'intelligence.

Voûte d'arête gothique.

Les Fig. 8 et 9 de la Planche XLI présentent le plan et la coupe d'une voute gothique, sur un plan hexagonal, comme celui de la précédente. Ces sortes de voûtes, comme nous l'avons déjà observé dans les préliminaires de la IIIe. Section de ce Livre, page 105, ne sont composées que d'une combinaison d'arcs droits ou segmens de cercles, moindres de 90 degrés, qui se réunissent pour former différens compartimens. Les intervalles sont en pierres, maconnées en mortier ou

en plâtre; ces pierres sont assez petites pour se prêter, sans avoir besoin d'une taille rigoureuse, à la courbure de ces remplissages.

Comme tous les arcs ogifs qui composent cette voûte sont semblables, il ne faut pour exécuter les voussoirs qui les composent, que deux panneaux pris à l'endroit où ils se détachent des piliers; un sur la Fig. 8, qui donne les surfaces de dessus et de dessous, ou coupes, telles que F, Fig. 11, et l'autre pour le profil de la hauteur compris entre les courbes d'extrados et d'intrados, telles que *cghd*, Fig. 9.

La clef peut être considérée comme une pyramide tronquée et renversée, dont la base est un hexagone inscrit dans un cercle, Fig. 14.

La manière la plus convenable de la faire est par demi-équarrissement. On commence par faire dresser une surface préparatoire indiquée par la ligne *lm*, Fig. 9, sur laquelle ayant tracé le polygone exprimé par la Fig. 14, qui forme la base de cette pyramide, on fera tailler ses surfaces inclinées selon le béveau d'angle *p*, *m*, *o*, Fig. 9. Sur chacune de ses surfaces on tracera à des distances indiquées par les lettres *k* et *n* des lignes parallèles, dont les premières marqueront le contour du joint d'extrados, et les autres celui de l'intrados. Le point de raccordement des arcs est occupé par l'épaisseur de la rosace ou cul-de-lampe, dont les constructeurs goths avaient coutume d'orner la partie inférieure de la clef principale des grandes voûtes.

Comme les naissances des arcs ogifs et de ceux formant vitraux se réunissent sur le même pilier, la Figure 10 fait voir la manière dont les coupes se raccordent avec la masse, là où ces parties d'arc y sont encore engagées.

Voûtes à doubles arêtes en plein cintre.

Dans les voûtes d'arêtes simples, les parties de berceau formant lunettes sont supposées coupées par le seul plan qui forme leur jonction immédiate; mais dans les voûtes à doubles arêtes, comme celle représentée par les Figures 1 et 2 de la Planche XLII, au lieu d'un seul plan OE, on suppose deux sections au droit de chaque pénétration EP, EN, formant ensemble un angle plus ou moins ouvert, et l'intervalle qu'elles laissent entre elles est rempli par une troisième partie de berceau qui se raccorde avec les deux autres.

Ces berceaux étant de différens diamètres, on a pris le plus petit pour former le cintre primitif, qui est une demi-circonférence de

cercle ABD; les autres cintres sont des ellipses formées avec les ordonnées de ce cercle.

Pour faire la projection des joints qui indiquent les rangs de voussoirs, on commence, comme pour une voûte d'arête ordinaire, par abaisser du cintre primitif ABD, Fig. 2, divisé en voussoirs, des parallèles à l'axe BO, jusqu'à la rencontre de la diagonale OE aux points 1, 2, 3 et 4, pour un quart de voûte, les autres étant semblables à cause de la régularité de la figure : de ces points on en relève d'autres parallèles à l'axe OR pour former le cintre du grand berceau HRI, Fig. 3. Ayant ensuite fixé la position des doubles arêtes EP, EN, dont les projections sont des lignes droites; des points $e^2 e^3$, $f^2 f^3$, $g^2 g^3$, et $h^2 h^3$, où ces lignes sont coupées par celles qui indiquent la direction des premiers voussoirs, on en tire d'autres qui marquent celles des joints de la partie de berceau formant les doubles arêtes.

Cet exemple nous fournit une nouvelle occasion d'appliquer le principe qui veut que, dans la formation de toutes sortes de voûtes, on ait égard à l'espèce de surface qu'elles doivent présenter. Les surfaces des voûtes ou parties de voûtes en berceau, étant, comme celles des cylindres auxquelles elles répondent, droites dans un sens et courbes dans l'autre, leur appareil doit être disposé de manière que les joints de lit qui indiquent les rangs de voussoirs, suivent la direction en ligne droite, et que les joints montans qui divisent chaque rang suivent la direction en ligne courbe.

Ainsi, pour le quart de voûtes dont il s'agit, les joints de lit des voussoirs suivent pour chaque partie de berceau leur direction en ligne droite et parallèle à leur axe; ils sont exprimés sur l'épure ou projection horizontale, Fig. 1, par trois lignes pour chaque rang de voussoirs, désignées par h^1, h^2, h^3 et h^4; g^1, g^2, g^3 et g^4; f^1, f^2, f^3 et f^4; e^1, e^2, e^3, e^4, répondant d'une part au demi-cintre primitif Fig. 2, et de l'autre au demi-cintre elliptique Fig. 3.

Ces lignes étant parallèles au plan de projection, sont représentées dans leur grandeur et leur disposition réelle, tandis que les joints montans Ik, lm, no et pq, sont des projections en raccourci des arcs G$h^5 h^5 g^5$, $f^5 e^5$, e^5 R; de même que la ligne droite CD est la projection du quart de cercle DB, et les droites EP, EN, GS, des projections de quart d'ellipse dont elles sont les demi-grands axes, les demi-petits axes étant tous égaux au rayon CB.

On a rassemblé dans la Fig. 4, les développemens des douelles plates des trois premiers voussoirs, formant doubles arêtes. Ces développemens sont faits par la méthode indiquée pour les pièces précédentes. Leur rallongement est pris sur le quart d'ellipse HTV, formant l'arc droit du berceau en pan coupé, terminé par les doubles arêtes.

La Fig. 5 présente la perspective du quart de cette voûte, sur lequel on a tracé l'appareil des doubles arêtiers.

On a fait voir, dans la Fig. 6, le relief du troisième voussoir tracé par demi-équarrissement, d'après sa projection en plan; les panneaux de tête sont pris sur les cintres, Fig. 2, 3, et ceux de douelle sur la Fig. 4.

On a, comme dans les pièces précédentes, marqué des mêmes chiffres et lettres, dans chaque figure, les parties correspondantes, pour mieux en faire sentir les rapports et les développemens.

Il faut remarquer que cette disposition de voûte donne les angles des arêtiers obtus, au lieu d'être aigus comme dans les voûtes à simples arêtes, et par conséquent plus solides. La partie du milieu formant un losange devient plate et doit être appareillée, comme les voûtes de ce genre, avec des coupes sur chaque côté.

Ces voûtes, bien exécutées, présentent une forme très-agréable et semblent devoir mieux se prêter à la décoration que les voûtes d'arête.

On peut, au lieu d'un losange, former dans le milieu un plafond rond ou ovale; mais alors l'appareil devient plus difficile et plus sujet, parce que les joints de lit des parties de voûte formant doubles arêtes, deviennent courbes, et leurs surfaces, des parties de voûte sphérique ou sphéroïde, dont il est question dans la VIe. Section de ce Livre.

Voûte gothique à triples arêtes.

Cette espèce de voûte n'est, comme la voûte gothique précédente, qu'une combinaison d'arcs droits qui se réunissent à une clef centrale et à plusieurs autres clefs particulières, en raison des compartimens que ces arcs forment entre eux.

La partie de voûte gothique, représentée par les Figures 7 et 8, est dans le genre de celles qu'on voit à l'église Saint-Gervais de Paris, ainsi qu'en plusieurs autres édifices du même genre.

Avant d'entrer dans aucun détail, il est bon d'observer que, pour la régularité de cette espèce de voûte, il faut que les centres de tous

les arcs, ou parties d'arcs qui les composent, soient situés sur un plan horizontal passant à la hauteur des naissances.

Les arcs doubleaux marqués en plan par AB, CD, et ceux ogifs formant les diagonales EF, Fig. 7 et 8, étant donnés, on déterminera d'abord le cintre GH passant par le milieu des côtés qui forment le plan de la voûte. Pour cela, après avoir tiré la corde GH, on fera passer par son milieu une perpendiculaire prolongée jusqu'au point L, où elle rencontre la ligne AM tracée sur le plan horizontal qui passe à la hauteur des naissances de la voûte : ce point sera le centre de l'arc GH, qui doit former ce cintre et se raccorder avec les clefs des deux arcs donnés.

Pour les parties d'arc marquées IN sur le plan, auxquelles on donne le nom de *tiercerons*, on prolongera leur milieu jusqu'en O, on portera ensuite FO du plan sur l'élévation de coupe de P en *b*; par le point *b*, on mènera une parallèle à l'axe PR qui coupera l'arc précédemment trouvé GH en *d*, et donnera la hauteur *bd* de l'arc IO.

Pour avoir la courbe de cet arc, en prenant pour base la diagonale EF du plan, on portera IO de E en *q*, et, après avoir élevé la perpendiculaire *qg* égale à *bd*, on tirera la corde E*g*, sur le milieu de laquelle on élèvera une autre perpendiculaire qui coupera la base EF prolongée en *h*, qui sera le centre de l'arc E*g*, élevé perpendiculairement sur E*q*, égale à IO; mais comme il doit s'arrêter au point N, on aura sa véritable longueur en portant ON de *q* en *n*, et élevant par le point *n* une parallèle à *qg* qui coupera l'arc E*g* en *i*, et E*i* sera l'arc représenté par la projection IN.

Pour les parties d'arc FN, appelées liernes, allant des tiercerons à la clef du centre, il faut, sur la même base EF, décrire la branche d'arc ogif EH, dont la hauteur FH est donnée; on portera ensuite FN en F*p*, ayant mené par le point *p* une parallèle à FH, on portera dessus de *p* en *k* la hauteur *ni* du tierceron, et ayant tiré la corde *k*H, on élèvera sur le milieu une perpendiculaire qui coupera la base EF prolongée en *t*; ce point sera le centre de l'arc formant cette lierne, dont la longueur est exprimée par *k*H.

On trouvera l'arc qui forme l'autre lierne ND ou NB, qui se raccorde avec la précédente et avec la clef de l'arc doubleau CD ou AB, en portant ND de *p* en *s*, et en élevant par ce dernier point une parallèle à *pk* sur laquelle on portera la hauteur CG prise sur la coupe Fig. 8,

de *s* en *m*, et ayant tiré la corde *km*, on élèvera sur son milieu une perpendiculaire indéfinie qui coupera la base EF en un point qui se trouve le même que *p*, ou qui en est infiniment proche; il sera le centre de l'arc *mk*, répondant à DN.

Pour faciliter davantage l'intelligence de ces espèces de voûtes, on a reporté aux Fig. 9, 10, 11 et 12 la forme développée de chacun de ces arcs, avec leur épaisseur et leur division en voussoirs, depuis l'endroit où ils se détachent des pieds-droits.

Les clefs de cette espèce de voûte étant la partie de leur appareil qui exige le plus de soin et d'intelligence, on a représenté celle du centre par les Fig. 14, 15 et 16, qui font voir les projections du dessous, du dessus, et sa face géométrale donné sur une échelle double. Une des quatre autres clefs qui sont semblables est représentée par la Fig. 13.

Il faut remarquer que les derniers voussoirs de tous ces arcs, ou *nervures*, aboutissant à la clef principale, forment entre eux une clef, indépendamment de celle qui occupe le centre dont on pourrait à la rigueur se passer. Cette propriété aura sans doute fait naître l'idée des clefs pendantes, et de celles percées à jour, qu'on remarque dans plusieurs voûtes gothiques, et dont la vue produit un étonnement égal sur l'esprit de ceux qui n'ont aucune connaissance de l'appareil et de la construction des voûtes [1].

Les remplissages entre les nervures forment des surfaces gauches et à double courbure, qui seraient beaucoup plus difficiles que l'appareil des parties en pierres de taille, s'ils n'étaient pas, comme nous l'avons déjà dit, formés de pierres assez petites pour se soutenir sans coupe étudiée et presque par le seul moyen du plâtre ou du mortier employé à leur pose. Elles peuvent ainsi se raccorder avec les courbures des arcs qui les renferment, sans avoir, pour ainsi dire, besoin d'être taillées exprès, en dirigeant avec intelligence leur rang d'une courbe à l'autre, en raison de la forme que ces parties de raccordement doivent avoir, de manière à ne présenter aucun effet désagréable.

[1] On voit dans l'église de Saint-Étienne-du-Mont, à Paris, un exemple remarquable de la première manière de terminer les voûtes gothiques. L'ouvrage du savant Guarini, imprimé à Turin en 1737, renferme les plans, coupes et détails de plusieurs églises de cette ville, dans les voûtes desquelles la seconde manière se trouve observée.

CHAPITRE SIXIÈME

DES VOUTES EN ARCS DE CLOÎTRE.

Nous avons déjà dit, dans les préliminaires de la IIIe. Section de ce Livre, page 103, que les voûtes d'arête et d'arc de cloître sont composées de parties de voûtes en berceau coupées en triangle, et que dans les voûtes d'arête, chacune de ces parties ne porte que sur deux de leurs angles, tels que AD, Fig. 1, Planche XLIII, tandis que dans les voûtes en arc de cloître, chaque partie triangulaire EDC, Fig. 2, a pour base un de ses côtés qui pose dans toute son étendue sur le mur auquel il correspond. On peut encore observer que chaque partie de voûte d'arc de cloître se trouve formée par les parties retranchées des deux berceaux qui se croisent, pour former la voûte d'arête correspondante; c'est-à-dire, faite sur un plan de même figure et de même grandeur.

La Fig. 3 présente l'épure ou projection en plan d'une voûte en arc de cloître sur un plan carré, dont le cintre primitif est une demi-circonférence de cercle. Cette projection indique les joints des voussoirs; ceux de la douelle inférieure ou intrados, qui sont apparens, sont marqués par des lignes pleines, et ceux de l'extrados par des lignes ponctuées.

On voit par cette figure que les rangs de voussoirs forment des carrés évidés, inscrits les uns dans les autres, et subdivisés par des joints perpendiculaires aux côtés de ces carrés. Cette projection sert à trouver la base des prismes ou parallélipipèdes, dans lesquels chaque voussoir doit être contenu, lorsqu'on le trace par équarrissement. C'est la méthode la plus convenable, surtout lorsque les premiers voussoirs forment tas de charge, ou crossette, pour se raccorder avec les murs ou pieds-droits, comme dans l'exemple dont il s'agit.

La Fig. 4 est la coupe ou profil répondant à la ligne LM du plan, Fig. 3. Cette coupe sert à indiquer la forme des joints montans, ou verticaux, des voussoirs de chaque rang.

Les Fig. 5, 6, 7 et 8 indiquent les développemens des douelles plates des voussoirs formant les arêtiers, ou angles rentrans, qui caractérisent cette espèce de voûte. Ces voussoirs sont indiqués en plan et en coupe par les lettres A, B, C, D. La douelle de la clef marquée E sur le plan, y étant représentée dans toute son étendue, on n'a pas cru de-

voir en donner une figure à part; d'ailleurs on peut se dispenser de ces développemens lorsqu'on opère par équarrissement.

La Fig. 10 représente la perspective à 45 degrés d'un des voussoirs des arêtiers marqué B sur le plan et le profil.

La base du parallélipipède dans lequel il est compris, y est marquée par les lettres GHPN et *ghpn*. Ce parallélipipède étant taillé, on applique sur les deux faces verticales formant l'angle HPN, le panneau H*hiabg* de joint, Fig. 4, et, après avoir tracé sur les lits supérieur et inférieur les lignes g^1, g^2, g^3, et a^1, a^2, a^3, pour indiquer les angles rentrans que doivent former les arêtes *g*, *b*, *a*, on abattra la pierre en formant en dessus des surfaces droites pour la coupe, et en dessous des surfaces courbes selon la douelle; enfin on terminera par le recreusement de la partie *hi*, pour former le lit et la coupe inférieures.

La Fig. 9 présente la forme du premier voussoir d'arêtier marqué A sur les plan et profil; il est censé avoir été dégagé dans un parallélipipède dont la base est exprimée sur le plan, Fig. 3, par le carré GO*s*R, et en élévation, Fig. 4, par le rectangle O*hip*S : on suppose qu'il a été tracé de même que le précédent, en appliquant sur les deux faces verticales O*o*S*s* et *s*SR*r* le panneau de joint pris sur la coupe Fig. 4, et indiqué par les lettres O*hia*F.

La Fig. 11 indique la forme de la clef marquée E sur le plan et la coupe. Pour la faire, on commence par tailler une pyramide tronquée, terminée par deux bases droites et parallèles, indiquées en plan par les carrés 1, 2, 3, 4 et d^1, d^2, c^1, c^2, et en élévation, ou plutôt en coupe, par *d*, *e*, 5 et 6. Sur chacune des faces inclinées de cette pyramide, on applique le panneau E de la Fig. 4, qui indique la courbure d'intrados et d'extrados de la clef, et on la termine en abattant la pierre au delà des courbes tracées avec ce panneau.

Pour bien former la douelle d'intrados, il faut, après avoir tracé les deux diagonales, les recreuser selon la partie d^2e^2 de la courbe du cintre rallongé de l'arête rentrante sur la diagonale, exprimée sur le plan par TVX.

Voûte d'arc de cloître sur un plan octogone.

Cette voûte est exprimée en plan par la Fig. 12, où l'on voit la projection des joints et des rangs de voussoirs avec les arêtiers. Tout ce que nous venons de dire sur la voûte précédente peut s'appliquer à

celle-ci ; il faut cependant observer que les voussoirs d'arêtier, au lieu d'être compris dans des parallélipipèdes à base carrée, sont contenus dans des prismes dont la base est à cinq côtés, ainsi qu'on le voit par la Fig. 14, représentant le voussoir indiqué par la lettre B sur le plan et la coupe, Fig. 12 et 13.

La clef est une portion de pyramide octogonale tronquée dont les bases sont formées par un assemblage de portions triangulaires, de surfaces courbes, creuses pour le dessous, et rondes pour le dessus; elle est représentée par la Fig. 15.

Les Figures 16, 17, 18 et 19 représentent les développemens des douelles plates des arêtiers.

Le cintre primitif de cette voûte est une demi-circonférence de cercle exprimée par FGH, Fig. 13; le rallongement de celui pris au droit des arêtes rentrantes est exprimé par IKL, Fig. 12.

OBSERVATION.

Les voûtes d'arc de cloître sur des plans irréguliers présentent une forme désagréable et sont moins solides : c'est pourquoi il faut les éviter autant qu'il est possible, ce qui dépend presque toujours de l'architecte. D'ailleurs, dans le cas où l'on se trouverait forcé d'en faire usage, l'opération n'est que plus longue sans être plus difficile. Les rangs des voussoirs doivent toujours être parallèles aux murs, de manière que la clef présente la même forme que le plan. Les projections en plan donnent, comme pour les voûtes régulières, les bases des prismes dans lesquels doivent être compris les voussoirs d'arêtier. Les coupes ou sections partant du centre perpendiculairement à chaque côté donnent les profils des panneaux de joints montant, qui servent à tracer les voussoirs, comme nous l'avons ci-devant indiqué. La seule différence est que, dans les voûtes régulières, souvent il suffit d'opérer pour un seul côté ou arêtier, les autres étant semblables; au lieu que pour les voûtes irrégulières, il faut presque toujours opérer pour chacun, parce qu'ils sont tous différens ; et comme la position du centre, ou milieu de la clef, se trouve à des distances inégales des murs, il en résulte des courbes différentes; mais elles ne sont que des rallongemens de celle qui a la moindre largeur, ou demi-diamètre, en prenant cette moindre largeur pour rayon du cintre primitif.

Voûtes d'arc de cloître barlongues.

Dans celles représentées par les Figures 1 et 2, Planche XLIV, les arêtiers ou arêtes rentrantes suivent les diagonales du rectangle, ce qui donne le cintre répondant aux petits côtés, beaucoup plus rallongé que celui qui répond aux grands ; mais comme cette disposition ne produit pas un bon effet, il vaut mieux, lorsque la pièce à voûter est beaucoup plus longue que large, faire la partie du milieu en berceau, et disposer les arêtiers à 45 degrés, ce qui produit une courbure de cintre égale sur tous les côtés. Cette dernière disposition est représentée en plan Fig. 7, et en coupe Fig. 8.

On a exprimé dans les plans de projection de ces deux voûtes, Fig. 1 et 7, l'arrangement des rangs des voussoirs et des arêtiers indiqués par les lettres L, M, N, O, D et P, Q, R, S, I; l'élévation des courbes A, *a*, *b*, *c*, *d*, G ; et H, *e*, *f*, *q*, *k*, L, formées par les angles rentrans de ces arêtiers, et le cintre primitif C, I, B, commun aux deux voûtes. L'appareil des joints de ces voûtes est représenté par les Fig. 2 et 8, ainsi que la forme d'extrados.

Les Figures 3, 4, 5 et 6 sont les développemens des douelles plates des arêtiers, marqués L, M, N, O dans le plan Fig. 1.

La Figure 9 représente le voussoir d'arêtier, indiqué dans le plan Figure 1, par la lettre K, avec la masse dans laquelle il est compris. Ce voussoir porte aussi une partie de l'encoignure du mur.

Le voussoir d'arêtier, représenté par la Fig. 10, est celui marqué Q dans le plan Fig. 7 ; il comprend aussi la partie des murs auxquels il répond.

La clef marquée I sur le même plan de projection, est représentée par la Figure K.

Il est facile de concevoir que pour l'exécution de ces deux voûtes, qui sont régulières et symétriques, il suffit de faire la moitié de leur projection en plan, et même le quart en renversant les panneaux de lits L, M, N, O; P, Q, R, S des arêtiers, pour les faire servir à droite et à gauche, de même que les panneaux de joints marqués dans la coupe par les mêmes lettres.

Voûte en arc de cloître avec plafond au milieu.

Cette espèce de voûte, désignée par les Italiens par l'expression de *volta a conca*, est très-convenable pour les grandes salles. La forme qui convient le mieux pour exécuter cette voûte en pierre, est celle qui résulte de la division de la largeur en trois parties égales, dont deux pour les parties cintrées ou voussures, et la troisième pour le plafond du milieu. C'est ainsi qu'est disposée la voûte représentée par les Fig. 12 et 13 de la Planche XLIV.

Pour procurer à cette espèce de voûte toute la solidité dont elle est susceptible, on a déterminé le centre des coupes de la partie plate du milieu, en formant au-dessous du diamètre AB un triangle équilatéral ayant pour base la partie comprise entre les centres EF des voussures, et pour sommet le point G, duquel on a tiré toutes les coupes comprises entre les points *d*, *l*, déterminés par le prolongement de GE et GF.

Pour le reste, tout ce qui a été dit pour les voûtes précédentes peut s'appliquer à celle-ci. Les arêtiers étant tous semblables, de même que les voussures dont ils forment la réunion, il suffit de faire l'épure d'un quart de voûte, et même d'un seul arêtier, en y marquant les voussoirs dont il doit être composé, comme ils sont indiqués sur le plan de projection, par lettres H, I, K, L, M, et sur le profil Fig. 13, où ils sont marqués des mêmes lettres, pour avoir les joints de coupe.

Les Fig. 14, 15, 16 et 17 expriment les développemens des douelles plates des voussoirs d'arêtiers, qui sont représentées en raccourci sur le plan de projection. On n'a pas fait celui du voussoir M, parce qu'il est exprimé sur ce plan dans toute son étendue.

La Fig. 18 représente le coussinet ou premier voussoir d'arêtier marqué H sur le plan et le profil.

La Fig. 19 indique le voussoir qui se place au-dessus, marqué I dans le plan et le profil.

Ces deux voussoirs portent l'un et l'autre toute l'épaisseur du mur, et forment l'encoignure extérieure.

Dans la perspective de ces voussoirs on a indiqué, comme pour ceux des voûtes précédentes les parallélipipèdes dans lesquels ils sont compris.

CINQUIÈME SECTION.

APPAREIL DES VOUTES CONIQUES, SPHÉRIQUES; SPHÉROIDES ET CONOIDES; DES VOUTES COMPOSÉES ET DES ESCALIERS.

CHAPITRE PREMIER.

DES VOUTES CONIQUES ET CONOÏDES.

On désigne par ces noms des voûtes dont la surface intérieure est celle d'un cône, ou dont la forme se rapproche de la figure de ce solide. Les premières sont celles érigées sur deux murs qui forment un angle, de manière que le cintre de face représente la base du cône : telle est celle indiquée par les Figures 1, 2 et 3 de la Planche XLV. On voit par ces Figures que tous les joints de l'arc de face tendent à l'angle qui forme le sommet du cône, et que les voussoirs vont en diminuant de largeur; mais comme ces voussoirs continués jusqu'à cette pointe deviendraient trop fragiles, on forme ce sommet d'une seule pierre appelée *trompillon*, indiquée par la lettre A dans les élévations des trois différentes espèces de trompes représentées par les Fig. 1, 3 et 5, et par la lettre B dans les projections en plan, Fig. 2, 4 et 6. Il est encore représenté seul avec sa coupe, par les Fig. 10 et 11.

Pour former les voussoirs qui composent ces trois espèces de trompes, il faut, après avoir tracé leurs épures, c'est-à-dire, leurs projections horizontales, Fig. 2, 4, 6, et verticales, Fig. 1, 3 et 5, et leurs profils, Fig. 7, 8 et 9, relever les panneaux de douelles de joints et de lits, avec les beuveaux des angles formés par la réunion des surfaces sur lesquelles ces panneaux doivent être appliqués.

Pour diminuer, autant que possible, les déchets considérables qu'entraîne l'exécution de cette pièce de trait, on a soin de choisir la plus grande face qui sert de base pour former les autres. Ainsi, dans les trompes, on commence ordinairement par la douelle des voussoirs, et on dresse une face préparatoire pour y appliquer les panneaux de douelle.

Pour la trompe droite, représentée par les Fig. 1 et 2, le développement doit être celui d'un demi-cône, c'est-à-dire qu'il doit être, comme nous l'avons dit précédemment page 88, un secteur de cercle, dont le rayon serait égal à C'P du plan, et l'arc égal au développement de la demi-circonférence qui forme le cintre de face; d'où il résulte que cha-

que douelle est représentée par un petit secteur ou triangle isocèle, dont la base est formée par l'arc développé ou par la corde correspondante à chaque voussoir, et par deux rayons ou côtés égaux à C^1B^1.

Si de ce développement entier, ou celui de chaque douelle, on retranche la partie qui répond au trompillon, le surplus sera le développement de la douelle entière ou de chaque partie de douelle; ainsi les douelles de la première trompe, Fig. 1 et 2, sont exprimées dans la Fig. 7 par le développement C^2, a^2, b^2, c^2, d^2, E^2, n^2, 4, 3, 2, 1, 0, pour une moitié, l'autre étant tout-à-fait semblable, parce que la trompe est droite et régulière.

Les panneaux de joints sont supposés couchés à plat sur le développement des douelles, et attachés au côté auquel ils répondent; ainsi le panneau de joint 5, 6, 7, 4, d^2, h^2, est celui indiqué par la ligne h, d, 4, Fig. 1; celui g^2, c^2, 3, 10, 9, 8, répond à la ligne g, c, 3; f^2, b^2, 2, 11, à f, b, 2 et e^2, a^2, 1, v à e, a, 1.

Cette voûte étant formée par un cône droit, creux et d'égale épaisseur, les angles de tous les joints pris perpendiculairement aux douelles plates sont tous égaux.

Pour trouver ces angles, on observera qu'on doit supposer les voussoirs divisés sur une circonférence dont le rayon est perpendiculaire à l'inclinaison de la surface intérieure du cône, et tiré à un centre placé sur l'axe; ainsi, ayant tiré du point E^3 du profil Fig 8, une perpendiculaire qui rencontre l'axe prolongé en F, de ce point comme centre et avec un rayon égal à FE^3, on a décrit l'arc ris égal à une des divisions du cintre de face de l'élévation Fig. 1, telle que cd, ensuite on a tiré du centre F les lignes rp, sq et la corde rs; l'angle prs ou rsq est celui que l'on cherche, et doit être le même pour tous les voussoirs.

Trompe dans l'angle rachetant un angle saillant.

Il faut remarquer que cette trompe représentée par les Fig. 3 et 4 peut être considérée comme un prolongement de la précédente, coupé par deux plans verticaux qui forment un angle droit; ainsi, ayant fait la division des voussoirs sur le quart de cercle E^1, d^1, c^1, b^1, a^1, C^1 de l'élévation Fig. 3, dont la projection est indiquée en plan par la ligne ponctuée E^2C^2, et renvoyé sur cette ligne par des parallèles à l'axe G^2L^2, les divisions du quart de cercle $E^1d^1c^1b^1aC^1$, on tirera par les points a^2,

b^2, c^2, d^2, de ces divisions, et le point L^2 représentant la pointe du cône en plan, des lignes droites depuis *n o* qui indique la projection du cercle formant le trompillon, jusqu'à la rencontre de G^2C^2, indiquant la projection d'une des faces de l'angle à soutenir; ces lignes exprimeront en plan les joints des voussoirs qui doivent former la trompe et la face de leur douelle en raccourci. Pour les avoir en élévation, Fig. 3, on tirera du point L, à partir du quart du cercle *o*, 1, 2, 3, *4*, *n*, qui indique le trompillon, des lignes indéfinies passant par les points de division du cercle d^1, c^1, b^1, a^1.

Pour déterminer leurs extrémités et leur hauteur, on observera d'abord que cette trompe étant formée par un cône droit, dont l'axe G^2L^2, est de niveau, il doit en résulter que si on prolonge le côté L^2C^2 jusqu'à la rencontre de la perpendiculaire G^2M à l'axe L^2G^2 de la projection en plan Fig. *4*, l'angle de la trompe élevé perpendiculairement au-dessus de G^2 sera au milieu d'une demi-circonférence de cercle, dont GM serait le rayon et qui serait la base du cône prolongé jusqu'à la ligne G^2M. D'où il résulte que pour avoir, en élévation, les extrémités des joints de douelle qui se terminent à l'arête de la trompe, il faut tirer par les points d^4, c^4, b^4, a^4, Fig. *4*, des parallèles à G^2M, qui indiqueront les rayons des demi-circonférences vers lesquelles viennent aboutir les extrémités de ces joints : ensuite du point L du sommet du cône en élévation, Fig. 3, et avec un rayon égal à 5, d^4, 6 du plan de projection, on fera une section qui coupera le joint *4*, d^1 prolongé, en d^3. Du même point L et avec un rayon égal à 7, c^4, 8 du plan, on fera une autre section qui coupera le joint 3, c^1 prolongé, en c^3. On aura les points b^3 et a^3, en faisant de même des sections avec des rayons égaux à 9, b^4, 10 et 11, a^4, 12 du plan.

Par les points G, d^3, c^3, b^3, a^3, C, on fera passer une courbe qui exprimera en raccourci, sur la largeur, l'arête de la trompe.

Il faut observer que pour avoir cette courbe tracée sans raccourci, il faut prendre les largeurs sur la ligne G^2C^2 du plan de projection; cette courbe étant le résultat d'un plan qui coupe un cône parallèlement au cône opposé, sera une parabole qui peut être tracée par le moyen que nous avons indiqué au Chapitre IIe. de la Ire. Section de ce Livre, page 61 et suivantes.

Pour tracer le profil représenté par la Fig. 8, qui indique la coupe de la trompe prise sur l'axe L^2G^2 du plan de projection, on a d'abord

fait la ligne de base L^3F égale à L^2G^2 du plan, ensuite on a élevé du point F une perpendiculaire FG^3 égale à LG de l'élévation Fig. 3, et on a tiré l'oblique L^3G^3, qui donne l'inclinaison et la longueur réelle de la ligne qui passe par le milieu de la clef; on a porté ensuite L^2n du plan en L^3o; on a élevé la perpendiculaire on^2 qui donne la projection verticale du cercle qui termine le trompillon : on a de même porté L^2E^2 du plan de L^3 en C^3, et élevé la perpendiculaire C^3E^3 représentant la projection du quart de cercle E^1, d^1, c^1, b^1, a^1, C^1 de l'élévation Fig. 3. Ayant ensuite porté sur cette ligne les hauteurs 17, d^1; 18, c^1; 19, b^1 et 20, a^1 de C^3 en d^5, c^5, b^5, et a^5, on a tiré par ces points, et L^3 qui indique le sommet du cône, des lignes indéfinies indiquant les joints de douelle. Pour terminer ces joints et indiquer la courbe de l'arête de la trompe, on a porté les points E^2, 11, 9, 7 et 5 du plan, de C^3 en 13, 14, 15 et 16, par lesquels on a élevé des perpendiculaires qui ont coupé les joints de douelle correspondans aux points a^6, b^6, c^6, d^6, par lesquels et les points C^3, G^3, on a fait passer une courbe qui termine ces joints et présente l'arête en raccourci. Cette méthode de trouver les hauteurs et les extrémités des joints de douelle, diffère de celle que nous avons suivie et conduit au même résultat.

Développement des panneaux de douelle et de joint.

Il est à propos de remarquer que les douelles des trompes étant obliques en deux sens, ne peuvent être exprimées dans toute leur étendue ni dans le plan, ni dans l'élévation, ni dans la coupe. Pour trouver leur rallongement, il faut se rappeler ce qui a été dit au Chapitre IIe. de la IIe. Section de ce Livre, page 84, savoir : que la longueur d'une ligne inclinée, par rapport au plan de projection, dépend de la différence de l'éloignement perpendiculaire de ces deux extrémités à ce plan; ce qui produit, dans tous les cas, un triangle rectangle dont les projections verticales et horizontales donnent les deux côtés formant l'angle droit; en sorte que l'hypothénuse de ce triangle présente toujours la longueur réelle de la ligne raccourcie.

Dans les Figures qui représentent la trompe dont il s'agit, les projections des joints de douelle du plan Fig. 4, et les hauteurs données par l'élévation, Fig. 3, ou le profil Fig. 8, expriment les côtés des triangles qui répondent à chaque joint, représenté en raccourci : ainsi, pour avoir leur longueur réelle, on a élevé des points d^4, c^4, b^4, et a^4,

des joints indiqués en plan, des perpendiculaires à chacune des lignes qui les représentent; on a porté les hauteurs correspondantes en d^4p, c^4q, b^4r, a^4s : on a ensuite tiré des points p, q, r, s des lignes à L^3, qui ont donné les vraies longueurs des joints de douelle, prolongés jusqu'à la pointe du cône.

Connaissant ces longueurs et les cordes Gd^8, d^8c^8, c^8b^8, b^8a^8, et a^8C^4 du cintre de face développé, Fig. 3, formant l'arête de la trompe; on a eu les trois côtés des triangles formant les panneaux de douelle plate prolongés jusqu'au sommet du cône; on les a réunis à la Fig. 8, où ils sont indiqués par les lettres $L^3d^7G^3$ pour la demi-clef, et $L^3c^7d^7$, $L^3b^7c^7$, $L^3a^7b^7$ et $L^3C^5a^7$.

On a placé, comme pour la trompe précédente, les panneaux de joint sur ceux de douelle, et on les a attachés aux côtés auxquels ils répondent. Pour une plus grande solidité on a supposé les panneaux de joints d'égale largeur et leurs angles inférieurs droits, c'est-à-dire, perpendiculaires à la pente de la douelle; de sorte qu'il ne reste à trouver que le rallongement produit par l'obliquité du joint de douelle avec la face.

Pour avoir ce rallongement, on a pris sur le plan Fig. 4 la longueur de la ligne L^2g^4, qui représente la projection de la diagonale du panneau de joint de la clef, indiqué en élévation par d^3g^{11}; on a porté cette longueur de G en 21 sur l'horizontale, passant par g^{11}, et l'on a pris la grandeur en ligne droite de L à 21, qui a donné la longueur de la diagonale cherchée : avec cette longueur, on a décrit du point L^3 des développemens Fig. 8, un arc indéfini qu'on a recroisé avec un autre décrit du point d^7, avec un rayon égal à d^3g^{111} pris sur le développement de la courbe formant une des deux arêtes de la trompe en élévation. Ayant ensuite mené une parallèle à L^3,4, d^7, pour marquer la largeur du joint, jusqu'à la rencontre de d^7g^5 prolongée, on a retranché par une ligne tirée du point g^5, qui doit être horizontale, la pointe du panneau interceptée par le joint de niveau.

Si l'on veut avoir le point auquel vient tendre la ligne d^7 9^5, on prendra la longueur L^2d^4 sur le plan, avec laquelle, du point L^3 du développement, Fig. 8, on décrira un arc de cercle, recroisé ensuite au point 23, par un autre décrit du point d^7, avec un rayon égal à la hauteur perpendiculaire du point d^3 au-dessus de l'horizontale LC^4 de l'élévation.

Pour l'autre panneau de joint indiqué en plan par L^2 c^4, et en éléva-

tion par $c^3 h^{11}$, on a pris, comme pour le précédent, la longueur L^2h^2 qui indique la projection de la diagonale de ce joint, qu'on a porté de 24 à 25 sur une horizontale de l'élévation passant par h^{11}, pour avoir la distance L 25, qui donne la longueur du rallongement de la diagonale; avec cette longueur pour rayon, on a décrit du point L^3 du développement, un arc indéfini qu'on a recroisé avec un autre décrit du point c^7, avec un rayon égal au joint de tête c^8h^4, du cintre de face rallongé, Fig 3. Du point d'intersection h^5, on a mené une parallèle à L^3c^7 pour déterminer la largeur de ce joint, terminé de l'autre côté par une perpendiculaire élevée du point 3, qui forme la coupe du bas.

Les deux autres panneaux de joint ont été trouvés en opérant de la même manière.

Il suffit des panneaux de joints et de douelles pour tracer les pierres qui doivent former les voussoirs, en se servant de béveaux qui donnent les angles de la douelle avec les joints; on peut cependant y joindre les panneaux de tête, pris sur le cintre de face rallongé Gc^8C^4 de l'élévation.

La Fig. 13 indique la forme de l'un des voussoirs joignant la clef.

Trompe dans un angle rentrant, terminée en tour ronde.

Nous avons dit, en parlant de la trompe précédente, qu'elle pouvait être considérée comme un cône droit coupé par deux plans verticaux, formant un angle saillant : celle-ci peut être considérée comme un cône coupé par un plan circulaire, indiqué en plan, Fig. 6, par G^1, d^1, b^1, a^1, C^1. On a fait la division des voussoirs en élévation sur le quart de cercle B, d, c, b, a, C, qui présente une section du cône selon la ligne indiquée en plan par B^1C^1. La projection des joints de ces voussoirs étant prolongée en plan, Fig. 6, jusqu'à la rencontre de la partie de cercle formant le plan de la tour ronde, et indéfiniment en élévation, Fig. 5; pour déterminer l'extrémité de ces joints et la courbe à double courbure que forme l'arête du cintre de face, on a tiré, comme pour la pièce précédente, des points a^1, b^1, c^1, d^1, des perpendiculaires à l'axe jusqu'à la rencontre du côté AC, prolongé; il est évident que ces lignes sont les rayons des cercles qui passeraient par ces points. Avec ces rayons, on a décrit du centre A de l'élévation, des sections d^{11}, c^{11}, b^{11}, a^{11} qui coupent les joints correspondans aux per-

pendiculaires du plan, et qui indiquent les extrémités des joints de douelle et les joints de la courbe du cintre de face.

Connaissant les hauteurs et les saillies, il sera facile de faire le profil indiqué par la Fig. 9, et le développement des panneaux de douelles et de joints, en opérant comme il a été expliqué pour la pièce précédente.

Il faut observer cependant que, quel que soit le contour de la trompe, en plan, c'est-à-dire droit, angulaire, rond, à pans ou ondé, comme la trompe du château d'Anet[1], on trouve les hauteurs, les saillies et les rallongemens des lignes et des surfaces de la même manière, en supposant des sections parallèles au cintre primitif perpendiculaire à l'axe du cône; quelle que soit d'ailleurs la courbe de ce cintre : seulement l'opération devient plus longue et plus compliquée, en raison de ce que le contour est plus ou moins composé, ou de ce que le cône est plus ou moins oblique ou irrégulier.

On a exprimé par la Fig. 14 la forme d'un des voussoirs joignant la clef de la trompe, représentée par les Fig. 5 et 6.

Les Fig. 10 et 11 ont été faites pour réfuter une opinion avancée relativement à la forme des trompillons, dans un traité de coupe des pierres, publié en 1792, par M. Simonin. Au lieu de former le trompillon par un demi-cône tronqué, comme tous les bons constructeurs ont pensé qu'on devait le faire, il propose de le former par un demi-cylindre, parce qu'il considère cette partie comme une porte dans l'angle dont le trompillon est le cintre. Mais il ne fait pas attention que lorsqu'on pratique un vide au lieu de trompillon, l'effet que les voussoirs peuvent éprouver par la charge qu'ils supportent ne trouvant pas de point qui résiste, se porte latéralement et agit comme poussée; tandis que si cette voûte est fermée par un trompillon, une grande partie de cet effet se porte sur lui. Alors il est évident que si c'est un cylindre évidé au lieu d'un cône, comme il devrait être pour une trompe conique placée dans un angle rentrant, il formera une arête aiguë indiquée par *pn*L, Figure 11, qui se brisera sous le moindre effort, de même que les angles *mpn* des voussoirs qui posent dessus. Il est vrai que ces angles sont moins aigus dans les trompes sphériques ou érigées

[1] Pièce de trait d'un mérite remarquable, exécutée *au château d'Anet, pour porter un cabinet afin de l'accommoder à la chambre où logeait ordinairement la majesté du feu roi Henri II.* Voir les Chapitres 1 à 6 du Livre IV de l'Architecture de Philibert de Lorme.

sur un mur droit, comme celles de Saint-Sulpice; mais ils n'en sont pas moins vicieux, parce qu'ils dérogent au principe général de la coupe des pierres, qui exige, pour la solidité, que tous les joints des pierres soient perpendiculaires aux surfaces qu'elles forment, quelle que soit leur situation. Ainsi, les modèles de trompe de la salle du trait de l'Académie d'architecture de Paris, que l'auteur blâme parce qu'ils ont leurs trompillons en demi-cône, sont comme ils doivent être en bonne construction, et comme les meilleurs auteurs le prescrivent, entre autres Frezier. Au reste, il est impossible de concevoir l'espèce de mouvement *communiqué par l'intérieur de l'édifice et qui pourrait faire agir le trompillon comme un coin qui tendrait à les renverser*

Voûte conique biaise et inclinée dans un mur en talus.

L'intérieur de cette espèce de voûte ou fenêtre ronde, appelée œil-de-bœuf ou O biais, présente la surface d'un cône oblique ou scalène à base circulaire; les joints de douelle des voussoirs dont il est formé tendent tous au sommet du cône, et les coupes des faces, à l'axe, ainsi qu'on le voit exprimé dans les Fig. 1, 2 et 3 de la Planche XLVI.

La double obliquité de ce cône fait qu'il n'y a que la face verticale représentée par la Fig. 3, et les deux lits horizontaux indiqués par les lignes EF, GH, qui puissent donner la grandeur réelle des panneaux et des joints; les autres ne sont que des projections, où ils sont indiqués avec plus ou moins de raccourci.

Le développement des douelles intérieures, représenté par la Fig. 4, est fait par la méthode ci-devant expliquée pour le développement du cône oblique, pages 87 à 90, et d'après les principes du tracé des épures, pages 75 et 82.

Pour tracer les voussoirs, par exemple la clef K, on commencera par lever le panneau de tête 17', d'', e'', 18' de la face verticale, Fig. 3, qui donnera sa plus grande hauteur, et celui du lit horizontal 12, 13, 17 et 18 représentant l'extrados sur le plan, Fig. 2, qui donne sa plus grande longueur. Ayant ensuite fait faire un parement et le lit de dessus, d'équerre à ce parement, on y placera les panneaux pour tracer la forme de la tête du voussoir et celle de son extrados. On peut, d'après ce tracé, faire tailler les deux joints, parce que ces panneaux donnent leur double obliquité; il ne s'agit plus que de trouver les deux

autres lignes qui doivent les terminer à la douelle du côté de la face en talus; on commencera par faire tailler le second parement avec le beuveau de l'angle obtus que la surface d'extrados forme avec le talus : ce parement fait, on y appliquera le panneau de tête 12, 13, *e*, *d*, rallongé d'après le talus pour finir de tracer le voussoir, qu'on achèvera de tailler, en abattant la pierre en dehors du tracé. On voit par ce procédé, qui peut s'appliquer aux autres voussoirs, qu'il est possible de se passer des panneaux de douelle. Nous n'avons donné leur développement que parce qu'il se trouve dans plusieurs auteurs qui ont traité de la coupe des pierres; mais nous observerons qu'il y a plus d'avantage à s'en passer, parce qu'on évite la double taille des douelles qui doivent d'abord être planes pour y appliquer les panneaux, et recreusées après pour les terminer.

La Fig. 5 représente cette clef en perspective; les angles sont indiqués par les mêmes lettres et hiffres que dans les projections verticales et horizontales.

Voûte conique a double embrasement, biaise et percée dans un mur en talus.

Cette espèce de voûte, représentée par les Fig. 6, 7 et 8, est aussi appelée voute canonnière, parce qu'on en a fait usage pour les embrasures de canon des casemates et autres endroits voutés. Nous ne donnons cet exemple que comme pièce de trait; c'est aux ingénieurs militaires qu'il convient d'en déterminer l'usage et les dimensions, pour atténuer la commotion violente que la réaction de l'air, deplacé par l'explosion de la poudre, pourrait communiquer au mur dans lequel cette ouverture est percée. A cet égard, la forme d'entonnoir paraitrait devoir être plus avantageuse, à superficie égale, que la forme barlongue proposée par quelques auteurs modernes.

Les Fig. 9 et 10 sont les développemens des deux parties de cônes qui forment la surface courbe intérieure; ils sont faits d'après les principes déjà cités à l'occasion de la pièce précédente. Nous ne les avons placés ici que comme un nouvel exemple du développement du cône oblique ou scalène : car on peut s'en passer pour tracer les voussoirs, en opérant comme nous l'avons indiqué pour la Fig. 6, avec les panneaux de face et ceux de la partie d'extrados qui doit se relier avec les assises ho-

rizontales. Ainsi pour le voussoir représenté par la Fig. 11, après avoir fait tailler le parement droit de la face verticale ou d'aplomb, et son lit d'extrados qui doit former un angle droit avec ce parement, on appliquera sur le premier le panneau *g*, *d*, *c*, *k*, et sur l'extrados le panneau *g*, *g*, *k*, *k*, levé sur le plan ou projection horizontale, Fig. 7; ensuite, avec un beveau qui donne l'angle *mno* du talus avec la surface de ce lit pris sur la Fig. 6, on fera tailler le second parement, sur lequel on appliquera le panneau de tête rallongé d'après la pente du talus sur la Fig. 6. Enfin, après avoir tracé, par le moyen de ces panneaux, toutes les lignes qui dessinent les arêtes de ce voussoir, on abattra la pierre pour former les surfaces droites et courbes dont elles sont les extrémités.

Pour l'intelligence de ces Figures, on a, comme pour les pièces précédentes, indiqué par les mêmes lettres et les mêmes chiffres toutes les parties qui se correspondent. Le développement des cônes est fait d'après les projections verticales et horizontales qui donnent pour chaque ligne droite tracée sur la circonférence de ces cônes, les deux côtés d'un triangle rectangle, dont l'hypothénuse est toujours la longueur.

Le cercle ponctué de la Fig. 1, et le demi-cercle de la Fig. 6, indiquent les bases des cônes prolongés jusqu'à une surface verticale parallèle à celle de l'autre face, afin de faciliter le développement de leur superficie.

Voûte conoïde.

Nous avons choisi pour exemple une imitation de la coupole intermédiaire du Panthéon Français, ou nouvelle église de Sainte-Geneviève, représentée par les Figures 4 et 5 de la Planche XLVII. La courbe de son cintre est formée par la chaînette ainsi que celles des lunettes qui forment les ouvertures inférieures. On a tracé son appareil sur le plan et sur la coupe, en donnant aux rangs de voussoirs une dimension assez grande pour en faire sentir la disposition.

La Figure 7 indique un voussoir de la partie supérieure où la voûte est pleine, et la Figure 8 un de ceux qui forment le cintre des lunettes, et qui se raccordent à crossette avec les joints horizontaux des parties intermédiaires, Fig. 6.

Pour l'exécution de cette espèce de voûte, il suffit de la coupe ou projection verticale et du plan ou épure, parce que chaque voussoir s'exécute comme pour la voûte sphérique, dont il sera question ci-

après, en formant d'abord les parties de cylindre dans lesquelles ils sont compris, afin de pouvoir tracer ces voussoirs par le moyen des panneaux ou cerces des joints montans pris sur le profil de la coupe et sur la projection horizontale ou épure.

Les voussoirs formant crossette, comme celui de la Fig. 8, doivent être pris dans des parties de cylindre comprenant leurs plus grandes hauteur, longueur et largeur. Il faut, outre les panneaux ou cerces de profil et de plan, des panneaux d'intrados et d'extrados faits en matières flexibles, ou plutôt tracer leurs formes avec des courbes et des points relevés de dessus l'épure.

Il est facile de comprendre que cette manière d'opérer convient à toute sorte de voûte conoïde, quelle que soit la courbure de son cintre, hyperbolique, parabolique, ou autre courbe ouverte, et même quelle que soit celle de sa base, circulaire, ovale ou elliptique.

Sur la voûte conoïde de Sainte-Geneviève.

Cette voûte, qui est très-surhaussée, a 65 pieds 8 pouces de diamètre (21 mètres 53 centimètres), sur 47 pieds de haut (15 mètres 267 millimètres). La charge considérable que cette voûte devait porter à son sommet, a déterminé à choisir pour la courbe de son cintre la chaînette. Afin d'éclairer la partie intérieure de cette voûte, sur laquelle devait être peinte une apothéose dans un ciel lumineux, on a ouvert sa partie inférieure par quatre grandes lunettes de 35 pieds de haut (11 mètres 35 centimètres), sur 29 pieds de largeur (9 mètres 42 centimètres); chacune de ces lunettes répond à trois des croisées de l'attique qui produisent à l'intérieur une grande lumière [1].

Il était nécessaire de fortifier les parties inférieures de cette voûte affaiblie par ces grandes lunettes; on les a reliées avec le mur de l'attique par des embrasemens ou jouées et par des voussures formant balcons, qui se raccordent avec les lunettes par des parties circulaires vers le milieu de leur hauteur. Les parties de voûte entre ces lunettes sont pénétrées par les murs circulaires des quatre escaliers communiquant au-dessus des voussures qui contre-butent les lunettes.

A partir des balcons formés par ces voussures, on a établi deux escaliers opposés qui se contrebutent et servent à communiquer à l'espèce de tour érigée sur le sommet de la voûte conoïde. C'est contre cette tour, percée d'arcades par le bas, que se termine la grande coupole formant le galbe extérieur du dôme.

[1] L'effet magique qu'on s'était promis de cette disposition, se trouve complètement réalisé aujourd'hui. La superficie de la peinture, dont l'exécution est due à M. le baron Gros, ne comporte pas moins de 3256 pieds.

CHAPITRE DEUXIÈME.

DES VOUTES SPHÉRIQUES ET SPHÉROÏDES.

Les voûtes sphériques sont celles formées en plan et en élévation par une demi-circonférence de cercle de même rayon. Les Italiens ont donné à la partie intérieure de cette espèce de voûte le nom de *cupola* (dérivé de *cupo*, creux, profondeur), dont nous avons fait coupole. Le mot *dôme*, qui vient du grec δωμα, s'emploie pour en désigner la forme extérieure.

Nous avons ci-devant observé, page 103, que la disposition d'appareil qui convient le mieux aux voûtes sphériques, tant pour la solidité que pour la facilité de l'exécution, est celle par rangs horizontaux formant des couronnes concentriques, comme on le voit exprimé par les Fig. 1 et 2 de la Planche XLVIII.

La Fig. 3 représente le développement des douelles des rangs de voussoirs exprimés en raccourci dans les Fig. 1 et 2; il est fait par le procédé ci-devant indiqué pour le développement de la sphère, page 90, en supposant la surface intérieure de chaque rang de voussoirs formée d'une partie de cône tronqué, dont les côtés sont représentés par les cordes A*a*, *ab*, *bc*, *cd*, de la Fig. 1. Ainsi, pour trouver les rayons des arcs de cercle qui forment le développement de chacune de ces parties de cônes, on a prolongé les cordes qui répondent aux rangs des voussoirs jusqu'à la rencontre de l'axe Fig. 1, qui se trouve hors de la Planche pour les deux premiers.

Mais si l'on veut opérer avec plus de précision, on peut faire usage du calcul trigonométrique, en observant que les triangles formés par le côté de la partie du cône inscrit et les parallèles à son axe et à sa base, sont semblables aux triangles formés par l'axe et les côtés du cône entier; d'où il résulte que pour trouver le rayon de A^2K, Fig. 3, on n'a qu'à faire la proportion A1 est à A*a*, comme AC est au rayon cherché, ou comme la tangente de l'angle *a* est au sinus total. Il est aisé de trouver la valeur de l'angle *a* en connaissant celle de l'arc A*a*; car si l'on continue cet arc en dessous jusqu'à la rencontre de la verticale *a*1 prolongée, on aura l'arc A*a*' égal à A*a*, et A*aa*' sera un angle à la circonférence qui aura pour mesure la moitié de l'arc sur lequel il est appuyé, et par conséquent l'Arc A*a*.

La surface intérieure des voûtes sphériques étant à double courbure, les panneaux de douelle ne peuvent donner leur développement que par approximation, et de plus ils exigent des surfaces préparatoires qui ne sont pas celles sur lesquelles doivent être tracées les arêtes des joints des voussoirs.

Pour former un de ces voussoirs avec précision, il faut commencer par faire tailler un prisme qui ait pour base sa projection en plan ; il en résultera une portion de cylindre creux, dont les surfaces seront terminées par les arcs extrêmes de cette projection. Ainsi le voussoir représenté par la Figure 4 est compris dans une portion de cylindre creux, indiqué en plan dans la Figure 2 par les lettres et les chiffres $c''5'5''c'''$. Le profil de la masse de cette portion de cylindre est indiqué dans la coupe Fig. 1, par les chiffres 8, 9, 10 et 11. On voit que, si par les points 5 et *c* on trace sur les surfaces courbes des lignes horizontales avec une règle pliante, elles seront l'expression exacte des arêtes qui passent par ces joints. On tracera aussi, dans leur grandeur, sur les surfaces droites 9, 10 et 8, 11, les arêtes indiquées par les angles 6 et *b* avec des arcs pris sur la projection en plan, Fig. 2, de b'' en b''' et de $6'$ en $6''$. Si d'après ces lignes et celles tracées sur les deux joints droits avec le panneau 5, *b*, *c*, 6, on abat la pierre qui se trouve en dehors, en se dirigeant avec la règle, d'une arête à l'autre, pour les joints 6, *c* et 5, *b* et avec des cerces découpées pour les arcs 5, 6 et *b*, *c* du profil, on parviendra à former ce voussoir avec la plus grande précision.

Cette manière d'opérer, que nous indiquons ici comme la plus méthodique, occasionerait cependant un très-grand déchet de pierre et des doubles tailles coûteuses, que ceux qui sont bien au fait de l'appareil, et qui savent, ce qu'on appelle en terme de l'art, *pratiquer la pierre*, trouveront facilement moyen d'éviter. On remarquera d'abord que, pour les surfaces préparatoires, il suffit des parties indiquées par les petits triangles 6, 10, *c* et 5, 8, *b* du profil, pour tracer les véritables courbes des arêtes, et qu'on peut les faire porter au panneau ; on peut encore se contenter de faire tailler des *plumées* avec des cerces, d'après les points 5, 6 et *c*, *b*; mais pour les faire précisément dans la direction qu'elles doivent suivre, il faut avoir soin de tracer sur le panneau des aplombs et des lignes de niveau qui indiquent leurs retombées. C'est ainsi qu'on a opéré pour exécuter toutes

les voûtes et parties de voûtes sphériques, ou sphéroïdes, en pierre de taille, de la nouvelle église de Sainte-Geneviève[1].

Les Figures 5 et 6 représentent la coupe et la projection horizontale d'une voûte sphérique dont les rangs de voussoirs forment en élévation des arcs verticaux, et en plan des carrés évidés inscrits les uns dans les autres, comme une voûte d'arc de cloître sur un plan carré. Cette disposition présente par le bas l'appareil de quatre niches formant ensemble un carré.

Il faut remarquer que cet appareil, qui est commandé par la décoration, pour des niches creusées dans les murs droits, deviendrait vicieux pour une voûte sphérique, à cause des voussoirs triangulaires qu'exige la réunion des quatre parties voûtées en niches. Ces parties, qui posent sur des angles extrêmement aigus et fragiles, sont d'une exécution plus difficile, et l'ensemble de l'appareil est moins solide que celui par rangs horizontaux, parce que les parties ne sont pas aussi bien liées et qu'elles occasionent une poussée qui tend à écarter les quatre niches.

Les Figures 7, 8 et 9 représentent les développemens des panneaux de douelle qui résultent de cette disposition; mais comme les surfaces à double courbure ne sont pas susceptibles de développement, on suppose que la surface de chaque rang est formée par une portion de cône tronqué, dont les axes sont perpendiculaires au milieu des lignes qui expriment en plan la projection de ces tranches de cône; d'où il résulte que chacun des carrés évidés est formé des quatre parties de cônes semblables, dont les axes se croisent au centre, et qui se rencontrent aux diagonales de ces carrés. Comme la direction en ligne droite de ces surfaces va au sommet de chaque cône, celle des parties qui se joignent sur la diagonale, tendant à deux points différens, doi-

[1] Il est arrivé quelquefois que les pierres n'étant pas assez grandes pour former ces petits triangles qui devaient être retranchés; alors on y suppléait par un peu de plâtre. Cette opération ayant été remarquée par quelqu'un qui n'était pas assez versé dans l'art pour en deviner le véritable motif, il crut bien faire d'en informer M. Soufflot, s'imaginant que ce pouvait être une infidélité de l'entrepreneur pour faire passer des pierres défectueuses trop petites.

Comme j'étais chargé de diriger les opérations de la construction, M. Soufflot me fit appeler pour m'en faire des reproches; mais lorsque je lui eus expliqué et fait voir les motifs d'économie qui m'avaient déterminé à cet expédient, qui, sans nuire à la forme ni à la solidité, facilitait le tracé des pierres, il approuva le moyen en me recommandant de n'en faire usage que le moins possible, pour ne pas donner lieu à de semblables dénonciations.

vent former un angle qui empêche de faire le développement des douelles qui correspondent aux angles d'une seule pièce, c'est-à-dire, de ces parties triangulaires, que les auteurs désignent par panneaux d'enfourchement. C'est de là que vient l'erreur que M. Larue reproche à Philibert de Lorme, à Mathurin Jousse et au père Dérand, sans en dire la raison, qui se trouve expliquée dans le Traité de Stéréotomie de Frezier, Livre IV, Chapitre VII, problème XVII.

Au reste, ce moyen, dont Philibert de Lorme est l'inventeur [1], n'est pas celui qui convient pour opérer avec précision, à cause des difficultés qui résultent de la supposition sur laquelle il est fondé, et qui ont échappé au père Dechalle, qui cependant était géomètre. Il est d'ailleurs plus long et ne ménage pas plus la pierre que celui par équarrissement. Ce dernier est plus exact et susceptible d'un moindre déchet, en y faisant les modifications que nous avons indiquées pour la pièce précédente.

Ainsi, pour le voussoir joignant la clef, représenté en perspective par la Fig. 10, les joints répondant aux lignes $e'f'$ et $d''c''$ du plan Fig. 6, qui sont verticaux, peuvent se tracer sur les faces contiguës du prisme à base carrée, dans lequel ce voussoir est compris, avec le panneau 8 e 9 f de la coupe Fig. 5; mais pour plus grande facilité de tracer les autres faces, et ménager la pierre, on fera porter au panneau la demi-clef et le petit triangle $9fq$, pour avoir une section verticale qui puisse se tracer sur les deux faces; ensuite, avec des cerces rondes et creuses, taillées suivant les grands cercles d'extrados et d'intrados, on formera ces deux surfaces en ayant soin de poser toujours une des extrémités de ces cerces aux angles m et n, et de diriger l'autre en rayon sur les différens points des courbes tracées sur les faces opposées. On a marqué par les mêmes chiffres et les mêmes lettres les arêtes et les angles de ce voussoir, qui correspondent aux lignes et aux angles des projections verticales et horizontales indiquées par les Figures 5 et 6.

Pour les voussoirs d'enfourchement du bas, qui sont les plus difficiles, le moyen proposé par Delarue et Frezier me paraît aussi très-simple et propre à opérer avec précision. Comme la sphère a une courbure uniforme et égale en tous sens, on choisit une pierre assez grande

[1] Voir son livre d'Architecture, Livre IV, Chapitres XII, XIII, XIV et XV.

pour pouvoir y creuser un segment de sphère capable de contenir la douelle du voussoir, et quelque chose de plus pour la saillie des coupes, ainsi qu'on le voit représenté par la Fig. 11. Cela fait, il ne reste plus qu'à découper la pierre d'après la figure de la douelle tracée avec des courbes, et à former les joints au moyen de beuveaux qui donnent l'angle de la douelle avec les coupes qui doivent toutes tendre au centre de la sphère. Cependant il est à propos d'observer que ce moyen emploie encore plus de pierre que le précédent, et ne donne pas autant de facilité pour former les joints et le dessus lorsque la voûte doit être extradossée.

Voûte sphérique incomplète sur plan carré, appareillée par assises horizontales.

Cette voûte, représentée par les Figures 12 et 13, ne diffère, pour le trait de l'appareil de celle exprimée par les Figures 1 et 2, que par les parties qui forment pendentifs dans les angles. Il faut remarquer que cette voûte fait partie d'une voûte sphérique entière, qui a pour diamètre la diagonale du carré. Les portions de cette voûte retranchées par les murs, forment à leurs surfaces intérieures des demi-circonférences de cercle, dont le diamètre est égal à la longueur intérieure de ces murs, à cause de la propriété de la sphère, dont la section par un plan quelconque est toujours un cercle.

Dans les Figures 12 et 15, qui présentent une coupe prise dans le milieu de la voûte, l'arc NIO, de la partie coupée, est une portion de la demi-circonférence du grand cercle, décrit avec un rayon égal à la demi-diagonale CE. La demi-circonférence ADB indique l'arête rentrante formée par la rencontre de l'un des murs.

La division des rangs de voussoirs est faite sur le quart du grand cercle ENI, prolongé de N en E, représentant la section faite sur la diagonale, où la circonférence de la voûte en élévation est entière. Les joints de coupe ne sont prolongés que jusqu'à la rencontre de la verticale PE, qui indique l'angle rentrant des murs prolongés dans la partie qu'occupe la voûte. Ceux des autres parties des pendentifs s'arrêtent aussi à la rencontre de la surface intérieure des murs auxquels ils répondent; on peut prolonger cette coupe dans l'épaisseur du mur, selon une direction perpendiculaire à leur surface intérieure, ou plutôt dans l'épaisseur de la pierre formant voussoir (ainsi qu'on le voit pour la Figure 17.)

Pour tracer une de ces pierres, par exemple, celle représentée par la Fig. 14, on se servira, pour les lits, de cerces découpées d'après les arcs marqués en plan par $b^{\prime}$, $b^{\prime\prime}$ et $a^{\prime}$, $a^{\prime\prime}$, et pour l'élévation sur la surface des murs, de cerces prises sur $a^{\prime}\ b^{\prime}$ de l'élévation. Pour abattre la pierre et former la surface intérieure, on se servira, au lieu de règle, d'une autre cerce prise sur la grande circonférence, qu'on dirigera toujours perpendiculairement aux arcs $b^{\prime\prime\prime}$ et $a^{\prime\prime\prime}$.

Voûte sphérique sur un plan carré, appareillée par carrés inscrits.

Les rangs des voussoirs qui forment cette voûte sont représentés en plan, Fig. 16, par des lignes droites perpendiculaires à la diagonale CF. Ces lignes forment, en élévation, des arcs de cercles indiqués dans la coupe, Fig. 15, en raccourci, mais développées pour un quart de voûte en dehors du plan; savoir : $f^{\prime\prime}$ 10 par $f^{\prime\prime\prime}$ 10$^{\prime}$; $g^{\prime\prime}$ 11 par $g^{\prime\prime\prime}$ 11$^{\prime}$; $h^{\prime\prime}$ 12 par $h^{\prime\prime\prime}$ 12$^{\prime}$; $i^{\prime\prime}$ 13 par $i^{\prime\prime\prime}$ 13$^{\prime}$ et $k^{\prime\prime}$ 14 par $k^{\prime\prime\prime}$ 14$^{\prime}$, qui ont pour rayon 0 m, 11 15, 12 16, 13 17 et 14 18, qui sont les lignes de projection des rangs de voussoirs, prolongés jusqu'à la circonférence du grand cercle passant par la diagonale GE, et exprimant la projection de la naissance de la voute entière.

Pour tracer les voussoirs qui composent cette espèce de voûte, il faut former, pour chacun, une surface droite et verticale ou d'aplomb, correspondante à la ligne de projection en plan à laquelle il répond; on tracera dessus la courbe d'élévation qui doit former l'aréte de la coupe, et on opérera pour le reste comme pour les voussoirs de la pièce précédente; c'est-à-dire avec des cerces découpées selon les arcs de cercles $i^{\prime}h^{\prime}$ de la coupe Fig. 15, pour les côtés, et pour le milieu avec le grand cercle dont la diagonale est le diametre.

La Fig. 17 représente un de ces voussoirs avec les coupes prolongées dans l'épaisseur du mur, marqué de lettres et de chiffres qui correspondent aux projections en plan et en élévation.

Nous ne craignons pas de répéter ce que nous avons dit, ci-devant, que la manière la plus convenable d'appareiller les voûtes sphériques entières ou coupées par des polygones inscrits dans le cercle de leur base, doit être par rangs horizontaux. Nous n'avons parlé de celles appareillées par rangs verticaux que pour faire connaitre les difficultés qu'occasione ce genre d'appareil, et procurer ainsi à ceux qui voudront

s'exercer dans cette partie de l'art, les moyens d'en faire les projections et les détails pour les exécuter en modèles, afin de se familiariser avec les difficultés de l'art du trait. On observera cependant que la disposition indiquée par les Fig. 5 et 6, pour les segmens en dehors du carré inscrit, peut être employée pour des niches; et celle des Fig. 15 et 16 pour des trompes dans l'angle qui rachètent une tour. Cependant, comme il en résulterait une plus grande poussée, l'usage doit encore en être restreint à des proportions d'une très-faible étendue.

Des voûtes en niche.

La forme des voûtes sphériques est si avantageuse, qu'on peut les couper en deux parties égales, par un plan vertical qui passe par le centre, et que ces parties se soutiennent indépendamment l'une de l'autre. On peut même les couper en quatre parties par des plans verticaux qui se croisent au centre, et chacune de ces parties se soutient également.

Les voûtes en niche peuvent s'appareiller de trois manières différentes; ou par rangs horizontaux formant des demi-couronnes, ou par rangs verticaux, ou en forme de trompe.

La niche représentée par les Fig .1, 2 et 3 de la Planche XLIX est appareillée en trompe. Dans chacune de ces Figures, le trompillon est indiqué par la lettre H; il est représenté de face dans la Fig. 1, en plan dans la Fig. 2, et en profil dans la Fig. 3. Les joints des voussoirs tendant au centre de la niche, sont indiqués par des lignes droites dans l'élévation de face, Fig. 1, et par des lignes courbes dans le plan et le profil, Fig. 2 et 3.

Pour trouver la projection courbe de ces joints, on divisera la partie de l'épaisseur du mur en plan, Fig. 2, dans laquelle ils sont compris, en deux ou trois parties, égales ou inégales, par des lignes *qr* et *st* parallèles à la face AC : ces lignes indiqueront les rayons des quarts de cercles qui diviseront la surface de la niche en élévation, en parties proportionnelles à celles du plan. Ainsi pour le premier joint *ai* de l'élévation, on abaissera des points 1 et 2 où ces quarts de cercles coupent les joints, des parallèles à l'axe DC, commun aux deux Figures, qui couperont les lignes du plan *qr*, et *st* aux points $1'2'$ qui seront deux de ceux de la courbe de projection de ce joint en plan, qui doit se terminer aux

points *a* et *i*, ce qui donne quatre points pour le tracer : et ainsi des autres.

On peut se servir, pour tracer les voussoirs de cette niche, de panneaux pour toutes leurs faces et joints, savoir : un pour l'élévation, Fig. 1, qui peut servir pour les deux côtés, en le retournant de droite à gauche, et deux de joints, et enfin un pour le trompillon. On a rassemblé les panneaux de joints dans la Fig. 4; ils sont placés l'un sur l'autre, de manière que la ligne indiquant pour chacun les arêtes du pli des crossettes et l'arête de l'extrados de la clef, est commune à tous.

Comme la surface creuse de cette niche est censée être exactement sphérique, les courbes *cl*, *bk*, et *ai* sont des arcs de cercle égaux, décrits avec le rayon AC.

La Fig. 5 représente la clef vue en perspective; ses arêtes et principaux angles sont indiqués par des lettres correspondantes à celles du plan, de l'élévation et du profil.

Trompe en niche sur le coin.

Les Fig. 6 et 7 représentent l'élévation vue de face et le plan de cette voûte. Les divisions des voussoirs qui tendent au centre I, sont faites sur le demi-cercle *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h* de l'élévation pris pour cintre primitif, dont la projection en plan est représentée par une ligne droite, avec les divisions correspondantes marquées des mêmes lettres. Les divisions sur les cintres de face sont déterminées par le prolongement des joints, jusqu'à la rencontre des plans verticaux qui forment l'angle saillant. Les arêtes courbes qu'ils forment avec la douelle sont, à cause de la propriété de la sphère, des quarts de cercle dont A, B, C, D, E, F, G, H, de l'élévation n'indique que le raccourci elliptique formé avec les ordonnées, $B^1 1$, $C^1 2$, $D^1 3$, et $K^1 4$ d'un quart de cercle, dont A^1K^1 est le rayon. Une des deux faces développée est représentée par la Fig. 9 avec ses divisions de joint pour servir de panneaux.

La Fig. 8 fait voir une coupe ou profil de cette trompe, pris sur l'axe commun RIK^1 des projections en plan et en élévation.

Comme cette voûte est supposée assez grande pour que les voussoirs ne puissent pas être d'un seul morceau, on a indiqué, dans la partie coupée, le profil du joint qui divise la clef en deux parties et celui du trompillon. Les lignes que les joints des autres voussoirs forment à la

surface concave, sont aussi indiquées sur les projections en plan et en élévation, et dans la partie du profil qui n'est pas coupée.

La partie supérieure de la clef, dont le profil est indiqué dans la Fig. 8, est représentée par la Fig. 10. Il faut, pour former cette partie du voussoir, commencer par le lit horizontal de dessus, qui est sa plus grande face, indiquée en plan, Fig. 7, par K^1, L^1, 13, 14, P^1 : après y avoir appliqué un panneau de même forme pour tracer son contour, on fera tailler les deux faces LRDK et RKEP d'équerre entre elles et avec le dessus; on appliquera sur chacune le panneau R'', L'', K'', D'' pris sur la Fig. 9 en le retournant, de manière que le côté $R''K''$ tombe sur l'arête KR pour les deux côtés. Ces panneaux serviront avec un beuveau d'angle $R''L''D''$, à former les surfaces sur lesquelles doivent être appliqués les panneaux de joints qui donneront les courbes des arêtes de la douelle. D'après ces courbes et celles des faces DK et KE, on formera à l'aide d'une cerce taillée sur K^3 16 du profil, Fig. 8, la surface courbe de cette douelle, sur laquelle ayant tracé la ligne 11, 12, on terminera cette partie de voussoir en taillant la coupe de derrière avec un beuveau formant l'angle mixte K^3, 16, 15.

On a représenté par la Fig. 11 une autre partie de voussoir portant crossette d'un côté pour se raccorder avec les assises de niveau.

On peut tracer ce voussoir, comme le précédent, en commençant par le lit horizontal de dessus, dont on lèvera le panneau sur le plan; on fera le grand joint du côté de la clef au moyen des beuveaux pris sur l'élévation; ensuite le parement de face et la partie de joint, formant crossette, qui doivent être d'équerre avec le lit de dessus; et après avoir préparé la face de l'autre joint, on tracera avec les panneaux de tête et de joints correspondant aux faces faites, les arêtes droites et courbes qui doivent les terminer. On se servira, pour former la douelle, des cerces prises sur le profil comme nous l'avons indiqué pour le voussoir précédent.

Voûtes sphéroïdes sur plans circulaire et elliptique.

Les premières sont aussi désignées sous le nom de voûtes sphériques surbaissées, ou de voûtes en cul-de-four; il y en a aussi de surhaussées sur un plan circulaire. Ces voûtes, au reste, ne diffèrent des voûtes

sphériques que par la courbe de leur cintre, formée par une ellipse ou imitation d'ellipse, au lieu d'une demi-circonférence de cercle.

La manière de faire l'épure ou projection en plan, la coupe et les développemens de ces espèces de voûtes, est absolument la même que pour les voûtes sphériques, dont nous venons de parler.

La disposition d'appareil qui leur convient le mieux, tant pour la solidité que pour la précision et la facilité de l'exécution, est aussi celle par rangs de voussoirs horizontaux en forme de couronnes, que nous avons ci-devant indiquée pour les voûtes sphériques.

La Figure 2 de la Planche L représente le quart d'une voûte sphéroïde sur un plan circulaire, dont la moitié du cintre est une demi-ellipse A *abc* F, Fig. 1, divisée en trois rangs de voussoirs jusqu'à la clef. Le premier dont la coupe est exprimée par E*da*AG, forme crossettes avec le mur. La courbe d'extrados de cette voûte ne lui donne d'épaisseur au milieu de la clef que la moitié de celle qu'elle a à l'endroit où elle se détache du mur. Les projections des joints d'extrados sont indiquées en plan, Fig. 2, par des lignes ponctuées.

La Fig. 3 fait voir la perspective de l'un des voussoirs du second rang, développé dans une partie de cylindre creux dont la base est prise sur le plan, où elle est marquée par les lettres *hikm*, comprenant la saillie de la coupe inférieure. Sur les joints droits de cette espèce de prisme, on applique le panneau *dabe*, pris sur la coupe Fig. 1, qu'on retourne pour tracer l'autre côté. Relativement au déchet de pierre que produit cette manière d'opérer, nous observerons, comme nous l'avons déjà fait pour la voûte sphérique de la Figure 1, Planche XLVIII, qu'en faisant porter à ce panneau les triangles *dna*, et *ebo*, on peut se passer des parties *pde* et *abq*, en ne faisant de paremens préparatoires que ceux indiqués par *dn*, *na*; *eo* et *ob* pour y tracer les courbes des arêtes *ee*, *bb* et *dd*, *aa*.

Voûte sphéroïde, sur un plan ovale ou elliptique.

La surface intérieure de cette espèce de voûte est censée produite par l'ellipse ou l'ovale du plan, qui a tourné autour de son grand axe ou grand diamètre; en sorte que toutes les coupes ou sections verticales qui seraient faites dans le sens de la largeur, parallèlement au petit axe ou petit diamètre, seraient des demi-circonférences de cercle : telle

est la voûte représentée par les Figure 4, 5, 6 et 7 de la Planche L Le cintre primitif sur lequel a été faite la division des rangs de voussoirs, est un quart de cercle dont le rayon AC est égal à la moitié du petit axe de l'ellipse en plan.

Il faut remarquer que les rangs de voussoirs devant être horizontaux, il en résulte que la courbe ou cintre, au droit du grand axe, étant plus rallongée que celle du petit axe, les douelles ne sont pas d'égale largeur. Cette largeur va en augmentant, depuis le petit axe jusqu'au grand.

La projection en plan des joints horizontaux, forme bien des ellipses semblables, c'est-à-dire dont les deux axes conservent le même rapport, mais elles ne sont pas équidistantes.

L'exécution de cette espèce de voûte présente beaucoup plus de difficultés, et exige plus d'opérations que celle des voûtes sphériques ou sphéroïdes à base circulaire, parce que l'inégalité des diamètres de la base elliptique, nécessite un rallongement de courbe pour chaque joint montant. Le moyen le plus simple d'avoir ces rallongemens, par exemple, celui du joint montant dont la projection en plan, Fig. 5, est exprimée par la ligne droite $b''4''$, est, 1°. d'abaisser de la partie du cintre primitif correspondant à ce joint, Fig. 4, la retombée ou perpendiculaire $c, 4$, et l'horizontale $b, 4$; 2°. après avoir divisé $b, 4$ en quatre parties égales, d'élever par les points de division des parallèles à $c, 4$ jusqu'à la rencontre de la courbe; 3°. de diviser de même la ligne de projection $b''4''$ du plan, Fig. 5, en quatre parties égales; et par les points de division, ayant élevé des perpendiculaires indéfinies, on portera sur chacune la hauteur correspondante de celle de la Fig. 4, et par tous ces points portés sur la Fig. 5, on tracera avec une règle pliante la courbe b'' c'', qui sera celle du joint indiqué par la ligne droite b'', $4''$. En opérant de même pour chaque joint, on trouvera toutes les courbes d'intrados et d'extrados.

Il faut remarquer que les joints d'épaisseur, tels que da, eb, cf, ne doivent pas former des surfaces de cônes concentriques, dont les sommets se trouvent sur l'axe de la voûte, comme dans les voûtes sphériques ou sphéroïdes à base circulaire. La régularité, la précision et l'observation du principe général de la solidité de la coupe des pierres exigeraient, dans ce cas, que les joints fussent partout perpendiculaires à la surface intérieure de la voûte, ce qui donnerait des arêtes

et des surfaces à double courbure, pour les coupes et les joints, extrêmement difficiles à exécuter[1].

Les deux parties de voûtes sphéroïdes de ce genre, exécutées à l'entrée et au chevet de l'église Sainte-Geneviève, ont été faites par la manière que donne Frézier; c'est aussi celle que nous avons suivie pour la voûte exprimée par les Fig. 4, 5, 6 et 7. Afin d'opérer avec plus de précision, il faut, outre le rallongement des courbes qui forment les arêtes des joints montans, en chercher deux autres *gk* et *hi*, par le même moyen, qui divisent la longueur du voussoir en trois parties, d'après lesquelles on formera des cerces intermédiaires pour creuser la douelle avec plus d'exactitude. On fera les coupes de dessus et de dessous avec des beuveaux mixtes, dont la branche droite doit être perpendiculaire à chacune des courbes.

La Fig. 7 représente un des voussoirs du second rang, avec l'indication de la masse dans laquelle il a été développé, et des lettres qui répondent aux Fig. 4 et 5.

Cette manière d'opérer est la seule qui convienne, lorsque la surface intérieure de la voûte doit être ornée de compartimens, ou de caissons carrés, comme ceux représentés par la Fig. 11. Mais si rien ne gêne la disposition de l'appareil, il faut choisir celle qui est la plus analogue à la formation de la surface de la voûte.

Nous avons dit ci-devant qu'on pouvait considérer cette espèce de voûte, comme étant formée par une demi-révolution de la moitié de l'ovale ou de l'ellipse du plan, autour de son grand axe. Ainsi, prenant cette demi-ellipse pour cintre primitif, et après l'avoir divisé en voussoirs, on peut imaginer que ce cintre, en tournant autour de son

[1] Tous les auteurs de *coupe des pierres* qui ont donné le trait des voûtes sphéroïdes sur un plan ovale ou elliptique, ont commis deux erreurs; l'une dans la projection des joints horizontaux, qu'ils ont figurés en plan par des ovales ou des ellipses concentriques et équidistantes; l'autre en indiquant dans le même plan la projection des joints montans par des lignes droites tendantes au centre. Frézier est le premier qui ait relevé ces pratiques vicieuses et qui ait démontré que la projection des joints horizontaux indiquant les rangs de voussoirs, devait être exprimée en plan par des ellipses ou des ovales qui doivent être semblables, mais non équidistantes. Quant aux joints montans qui séparent les voussoirs de chaque rang, il reconnait qu'ils devraient être exprimés par des lignes courbes, et il ajoute « qu'il conviendrait qu'il en fût ainsi, lorsque les voussoirs sont en assez petit nombre pour que la courbure devienne sensible; mais si le nombre en est grand, ils pourront être pris sans erreur sensible pour droits, chacun en particulier, parce qu'ils comprendraient une très-petite partie d'une courbe, dont les inflexions ne sont pas considérables. »

grand diamètre, forme des arcs verticaux concentriques qui indiqueront l'appareil de deux niches réunies. Cette disposition, parfaitement analogue à la formation de la voûte, fournit un moyen simple et facile pour l'exécuter avec précision, en évitant l'inconvénient des angles aigus et obtus qu'on peut reprocher à la méthode précédente.

Ces rangs de voussoirs sont représentés en plan par des lignes droites parallèles au petit axe de l'ellipse, et en élévation, Fig. 7, par des demi-circonférences de cercles concentriques, dont les lignes du plan sont les diamètres. Les joints qui répondent à ces circonférences forment des surfaces de cônes tronqués, dont le sommet, pour chacun, est le point où le joint prolongé vient rencontrer le grand axe. Les autres joints seraient des surfaces planes, tendantes à l'axe.

Il résulte de cette disposition d'appareil, qu'on peut tracer facilement les voussoirs et avec beaucoup plus de précision que par l'autre méthode, et qu'elle ne déroge en rien au principe général de la coupe des pierres : il ne faut pour cela que des arcs concentriques pour former les arêtes circulaires, et des panneaux de joint pris sur le cintre de la Fig. 6, qui seront les mêmes pour tous les voussoirs d'un même rang.

Pour les tailler, il faudra commencer par une face d'aplomb, répondant à la ligne droite de projection, sur laquelle on tracera avec des courbes les arêtes supérieures et inférieures. Pour les joints droits, il faudra un panneau levé sur la coupe, Fig. 6.

Pour former régulièrement les douelles d'intrados et d'extrados, on lèvera sur le cintre, Fig. 7, des courbes concaves et convexes; et pour les placer convenablement, on divisera les arêtes circulaires du haut et du bas en un même nombre de parties égales.

NOTE

SUR LA MANIÈRE DE TRACER LES CAISSONS DANS LES VOUTES SPHÉRIQUES ET SPHÉROÏDES.

Les caissons peuvent se tracer sur place, après que le ragrément de la surface de la voûte est fait, ou sur des parties de douelles développées. La première méthode donne un résultat plus exact, mais on est obligé de faire usage de l'autre, pour disposer l'appareil de manière que les joints s'accordent avec la distribution des compartimens.

Pour tracer les caissons sur la surface d'une voûte sphérique déjà faite, on commencera, quelle que soit d'ailleurs leur forme, par diviser la circonférence de niveau, qui doit servir de base au premier rang, en raison du nombre de caissons qui doit se trouver à chaque rang. De tous les points qui indiquent les milieux des côtes et des caissons, on élèvera des perpendiculaires qui doivent se réunir au milieu de la clef de la voûte, comme on le voit tracé pour un quart sur la Fig. 8, Planche L. Ces lignes peuvent être considérées comme les circonférences de plusieurs demi-cercles verticaux qui se croisent à l'axe de la voûte; d'où il résulte que si l'on tend un cordeau pour représenter le diamètre d'un de ces cercles, on trouvera les points de sa circonférence en élevant, avec un plomb, plusieurs points correspondans sur la surface de la voûte, par lesquels on fera passer une ligne qui sera la circonférence de ce cercle. Pour la tracer, il faudra se servir d'une courbe taillée d'après le cintre de la voûte, amincie en biseau et dressée sur le champ, qui servira de règle. Cette courbe, pour être commode et moins sujette à se déformer, ne doit pas avoir plus d'un mètre de long. Les points élevés du diamètre, représenté par le cordeau, doivent être à moins d'un demi-mètre l'un de l'autre, afin d'avoir toujours trois points pour fixer la courbe.

Au lieu d'élever des points aplomb de chaque diamètre, on peut opérer d'une manière beaucoup plus expéditive et plus simple, au moyen d'un fil à plomb arrêté au milieu de la clef de la voûte; ensuite, en opérant la nuit, il ne s'agira que de placer successivement une lumière à chaque division opposée à celle par laquelle on veut élever une circonférence verticale, et sur l'ombre projetée par le fil, on posera successivement la courbe dont nous venons de parler. Après avoir tracé par ce moyen, ou seulement en bornayant, les milieux des côtes et des caissons, on déterminera leur hauteur par la méthode suivante, qui est celle dont j'ai fait usage pour tracer les caissons qui ornent les voûtes sphériques de la nouvelle église Sainte-Geneviève. Cette méthode consiste à inscrire des cercles les uns au-dessus des autres, dans les divisions ou parties de développement comprises entre les arcs verticaux qui passent par le milieu des côtes, ainsi qu'on le voit sur un de ces développemens, représenté par la Fig. 9. Lors-

qu'une voûte est arrêtée à sa naissance par une corniche, au lieu de considérer le cercle de sa base comme le bord inférieur du premier rang de caissons, il faudra exhausser le premier rang d'une quantité que l'élévation de la voûte, sa grandeur et celle de l'ordonnance de l'édifice pourront seules faire apprécier. Dans l'exemple que nous donnons ici, nous avons fixé cet exhaussement à la moitié de l'une des divisions déjà trouvées sur la circonférence; ainsi, pour fixer le bord inférieur du cercle circonscrit du premier rang de caissons, on a décrit sur EF, Fig. 9, une demi-circonférence de cercle qui a donné le point 2, par lequel on a tracé du sommet du triangle sphérique, formant le développement de la côte, un arc de cercle horizontal *ab* : ayant ensuite divisé l'angle *g a* 2 formé par ce segment, et un des verticaux EG en deux également, par le moyen d'un arc décrit du point *a* comme centre, et *a* 2 pour rayon, on a tiré du point *a*, et par le milieu de cet arc, une ligne qui a coupé le milieu du caisson au point 3. Ce point est le centre du cercle à décrire entre les courbes verticales EG et FH qu'il doit toucher, ainsi que le cercle horizontal *ab*.

Par le point 4 de la circonférence supérieure de ce cercle, on a fait passer un second cercle horizontal qui a donné pour chaque caisson du premier rang, le quadrilatère *acdb* circonscrit au cercle qui renferme le compartiment. Il est inutile de dire que l'on obtient les caissons suivans, en répétant l'opération que nous venons de décrire[1].

L'intersection des deux diagonales courbes *a* 3 *d*, c 3 *b* avec ce dernier cercle, déterminent aux quatre points *hlmn*, la moitié de la largeur du champ et celle du premier cadre, ou renfoncement; le second se trouve en divisant 2, 3 et *g*, 3 en deux parties égales aux points o et *p*, par lesquels on trace avec des courbes verticales et horizontales des lignes jusqu'à la rencontre des diagonales. Le cercle qui comprend la masse de la rosace a pour rayon les quatre cinquièmes de la largeur o 3.

Les caissons en losange, Fig. 8 et 14, se tracent en menant des parallèles aux diagonales des quadrilatères circonscrits aux cercles d'opération, à même distance que pour les caissons carrés.

Pour faire les caissons octogones, Fig. 8 et 15, il n'y a qu'à mener des tangentes aux points *klmn* qui donneront les points 9, 10, 11, 12, etc., par lesquels et le centre 3 on fera passer d'autres diagonales qui détermineront par leur intersection avec les côtés du caisson carré, les points de raccordement des quatre au-

Il y a des auteurs qui déterminent la diminution des caissons pour chaque rang, par des quarts de cercle dont le premier est décrit du point 1 avec un rayon égal à E1; le second par un autre décrit au point 2, où le premier a coupé la courbe verticale du milieu d'une des côtes, et ainsi des autres; mais cette méthode très-simple représentée par la Fig. 17, donne les caissons des rangs supérieurs un peu trop rallongés. Le décroissement des caissons de la coupole du Panthéon de Rome, dont la distribution primitive paraît avoir été fidèlement conservée dans la restauration opérée à cette voute en 1756 semble avoir été déterminé par ce dernier procédé. Voyez Fig. 18, même planche.

tres côtés qui en formeront un octogone. Le petit losange placé entre ces caissons doit avoir chacun de ses côtés égal à celui des octogones auquel il répond.

Pour les caissons hexagones, Fig. 16 et 8, on déterminera les côtés du haut et du bas en divisant les arcs *ab*, *cd*, Fig. 16, compris entre les diagonales, en trois parties dont on portera deux de chaque côté de la ligne verticale *db* du milieu du caisson; savoir, pour le haut de *d* en *f* et en *g*; et de *b* en *k* et en *i* pour le bas. On doit diviser chacun de ces arcs, parce que celui du haut est un peu moindre que celui du bas. Ensuite par les points *f*, O, *i*, et *g*, O, *k*, on fera passer deux lignes courbes qui couperont les côtés des caissons carrés aux points 1, 2, 3 et 4, qui détermineront les côtés parallèles du haut et du bas; on trouvera les autres en portant sur le cercle horizontal qui passe par le centre une grandeur moyenne entre O, 1 et O 4, de O en 5 et 6. La largeur des renfoncemens se marquera en tirant des parallèles à ce premier contour, dans le rapport indiqué pour les caissons carrés.

Pour faire la projection en plan de ces caissons, on portera toutes les hauteurs sur le cintre d'élévation AL, Fig. 10, et l'on abaissera par ces points des perpendiculaires sur la ligne AC du plan, qui indiqueront les cercles horizontaux auxquels ils répondent.

Ayant ensuite reporté les subdivisions intérieures de deux en deux sur les grandes divisions déjà tracées sur le plan; de tous ces points et du centre C du plan, Fig. 8, on tracera des arcs de cercle concentriques et des lignes droites qui exprimeront, par leur rencontre, la projection des caissons tracés sur la superficie de la voûte. Mais si on veut exprimer les recreusemens, il faut, après en avoir fait le profil, abaisser des perpendiculaires de tous les angles.

La méthode que nous venons de donner est la même pour toutes les voûtes à bases circulaires, quelle que soit leur courbe d'élévation, plein cintre, surhaussée ou surbaissée.

Quant aux voûtes sur un plan ovale ou elliptique, pour que les caissons ne produisent pas un effet désagréable, il faut que les rangs de caissons soient compris entre des ellipses horizontales, Fig. 11, semblables à celles de la base; comme dans les voûtes sphériques ou sphéroïdes sur plan circulaire, ils le sont entre des cercles concentriques. La projection des côtes, ou champs de séparation, doit aussi former en plan des lignes droites qui se croisent au centre. Ces lignes, qui varient de grandeur, sont les grands axes d'autant de demi-ellipses verticales qui donnent des mesures et des courbes différentes pour la largeur développée de chaque rang de caissons, et même pour les arêtes montantes des encadremens de chacun.

Pour réussir à tracer dans cette espèce de voûte des compartimens de caissons qui produisent un bon effet, il faut, après avoir divisé la circonférence de l'ellipse qui lui sert de base, en autant de parties égales qu'il doit se trouver de milieux

de côtes et de caissons, déterminer leur diminution comme pour une voûte à base circulaire dont le diamètre serait moyen entre le grand et le petit axe de l'ellipse. Ainsi, pour tracer le compartiment de caissons exprimé en plan par la Fig. 11, on s'est servi d'un développement Fig. 13, fait d'après une portion de voûte circulaire en plan dont le rayon CH est moyen entre les deux demi-axes CE, CD; on a porté les grandeurs H, 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7 sur la circonférence de l'ellipse moyenne dont le demi-diamètre serait égal à ce rayon, et qui se trouve exprimée par KH, Fig. 12. Ayant ensuite tracé le quart de cercle CK, qui exprime le cintre d'élévation sur le demi-axe CE et l'ellipse KD qui est celle dont le demi-grand axe est exprimé en plan par CD : on a tiré par les points 1, 2, 3 4, 5, 6 et 7, des horizontales qui marquent sur ces trois courbes, et sur toutes celles intermédiaires qu'on pourrait tracer, les hauteurs de chaque rang de caissons et les mesures de leurs encadremens.

Pour avoir leur projection en plan, il faut, après avoir élevé les perpendiculaires EO, HI, DS, prendre les distances des points 1, 2, 3, 4, etc. à chacune de ces lignes, et les porter sur le plan des points E, H, D, sur les lignes EC, HC et DC; par tous ces points, marqués des mêmes chiffres, on fera passer des ellipses qui exprimeront les projections des courbes horizontales qui passent par tous les milieux des rangs de caissons et des champs qui les séparent. Pour avoir les lignes d'encadrement, après avoir porté leurs mesures sur la courbe moyenne KH de la Fig. 12, on opérera comme pour les lignes des milieux horizontaux.

C'est au moyen de ce plan de projection qui donne toutes les largeurs, et des courbes d'élévation de la Fig. 12 qui donnent les hauteurs, qu'on peut tracer les caissons sur la superficie de la voûte sphéroïde, en opérant comme nous l'avons expliqué ci-devant pour les voûtes sphériques ou à base circulaire.

Les développemens, Fig. 9 et 13, se font par la méthode que nous avons indiquée pages 90, 91 ; on observera seulement que toutes les largeurs se prennent sur le plan ou projection horizontale, et les développemens de hauteurs sur le profil. Ainsi le développement Fig. 9 a toutes ses largeurs égales à celles de la projection en plan AILM pour une moitié Fig. 8, dont il peut être regardé comme l'extension; de même que AL du profil Fig. 10 est l'extension de AI, Fig. 8.

M. Brunet, savant constructeur, dont nous aurons plus d'une occasion de parler dans cet ouvrage, a poussé au dernier degré l'étude du tracé des caissons sur les voûtes sphériques, à l'occasion du travail dont il fut chargé relativement au calcul des fers de la coupole construite, d'après les dessins de M. Bellanger, sur la cour de la Halle aux Blés de Paris.

On nous saura gré, sans doute, de placer ici, à la suite des notions qui précèdent, et qui présentent toute l'exactitude désirable pour tous les cas ordinaires de la pratique, la méthode qu'il a trouvée pour parvenir au but important qu'il avait à remplir.

« On décore ordinairement les voûtes apparentes avec des caissons, dans les-
» quels on taille des rosaces circulaires ; et, pour que ces caissons soient régu-
» liers, il faut que de leur centre on puisse leur inscrire un cercle qui soit
» tangent à leurs quatre côtés. Dans les voûtes sur un plan droit, les caissons
» sont formés par un carré parfait, dans lequel un cercle peut être inscrit sans
» difficulté ; mais il n'en est pas de même pour les voûtes sphériques, où les cais-
» sons sont formés par quatre courbes, deux verticales et égales en hauteur, qui
» sont les côtés, et deux horizontales, l'une pour la base et l'autre pour le
» sommet, qui sont inégales, parce que leurs longueurs sont proportionnelles aux
» rayons horizontaux dont elles dépendent.

» Jusqu'à présent on a obtenu le rayon du cercle inscrit par le développement
» du quart de la circonférence ; mais cette méthode, dont je parlerai à la fin de
» cet ouvrage, devenant impraticable pour un quart de circonférence de 95 pieds
» de développement ; et la grandeur des caissons, dont les premiers ont plus
» de 7 pieds de développement, exigeant de l'exactitude, j'ai été obligé de cher-
» cher une méthode qui donnât la hauteur de chaque caisson, de manière à rem-
» plir le but qu'on se propose.

» La Figure 1, Planche L, représente un fuseau DEPBH, tracé sur la sur-
» face d'un globe, qui doit renfermer les caissons, et qui a pour base l'arc DOH,
» l'une des divisions qui assignent le nombre des caissons sur le grand cercle de
» base QOV, qui partage ce globe en deux hémisphères égaux. Il sera aisé de
» se figurer ensuite que la surface de l'hémisphère supérieur est devenue la
» surface intérieure d'une voûte sphérique. En faisant passer un grand cer-
» cle PGO, par le milieu de ce fuseau, il s'agit de trouver sur cet arc, pour le
» premier caisson, et ensuite pour les caissons supérieurs, des points C, G, t,
» desquels, comme centre, on puisse tracer des cercles qui ne fassent que tou-
» cher les trois côtés du fuseau, ces mêmes cercles donnant aux points A, S, x,
» la hauteur de ces mêmes caissons.

CONSTRUCTION.

» Figure 1. Pour avoir le centre du premier caisson, on portera un des grands
» arcs PED, PBH, qui sont chacun de 90° sur le grand cercle plan VOQ,
» de D en g, et la moitié DO de l'arc de base du fuseau de D en F, sur l'arc,
» ou le côté PED. Si par les points g, F, on fait passer un grand arc, dont le
» centre soit pris sur la prolongation de l'arc PED, je dis que cet arc gCF
» sera perpendiculaire audit grand arc PED, et qu'il coupera l'arc du milieu en
» un point C, qui sera le centre du cercle inscrit ; en sorte qu'on aura le rayon CO,
» égal au rayon CF ; en traçant ce cercle, il donnera sur la courbe du milieu,
» au point A, la hauteur du caisson, et on fera passer par ce point A un cercle
» horizontal MAN, qui déterminera en aAb le quatrième côté du caisson.

» Pour avoir le centre du second caisson, on fera l'arc OHV de 90° et par les » points V, A, on fera passer un grand arc VAE, dont le centre sera pris sur la » prolongation de la courbe du milieu PGO, afin que ces arcs se coupent à angles » droits ; cet arc VAE coupera en B, E, les côtés du fuseau, et on aura BA » égale AE. On portera l'arc EA, sur le côté du fuseau en E*f*, par les points *g*, F, » on fera passer un grand arc qui coupera l'arc du milieu en un point G ; ce point » sera le centre du cercle inscrit, qui donnera en S, la hauteur du second caisson, » et par ce point S, on fera passer un cercle horizontal *e*S*n*, qui terminera aux » points T, R, la hauteur du quatrième côté de ce second caisson.

» Une semblable opération, après avoir tracé le grand arc V*z* S*y*, donnera, » en portant *y*S, en *yp*, et en traçant le grand arc *gp*, un point *t*, sur la courbe » du milieu, qui sera le centre du cercle inscrit dans le troisième caisson. Il en » sera de même des caissons supérieurs.

DÉMONSTRATION.

» Pour le premier caisson : le fuseau D*g*F est égal au fuseau DPO, puisque » ses côtés DH*g*, FI*g*, sont chacun de 90°, et que, par construction, sa base » DF est égale à DO. Si des arcs égaux DH*g*, DEP, on retranche les arcs » égaux DO, DF, les complémens OH*g*, FEP, seront égaux, et les trian- » gles *gOC*, *PFC*, rectangles en *O*, *F*, seront égaux et semblables ; car le côté » *gO* est égal au côté *PF*, et les angles en *g*, *P*, sont égaux, puisqu'ils sont me- » surés par des arcs DF, DO, qui sont égaux par construction, en sorte que les » petits côtés CO, CF, de ces triangles sont égaux, et que par conséquent le » point C est le centre du triangle inscrit dans le premier caisson.

» Pour le second caisson : le grand arc *g*G*f*, perpendiculaire au grand arc » P*f*E, coupe au point *q*, le grand arc VBAE, perpendiculaire à l'arc du mi- » lieu PGO ; je dis que les triangles *qf*E, PAE, rectangles en *f*, A, sont égaux » et semblables, car ils ont un angle commun en E, et, par construction, le côté » EF est égal au côté EA ; on aura, par conséquent, le côté E*q* égal au côté EP ; » si de ces côtés égaux on retranche les arcs égaux EA, E*f*, les restes A*q*, *f*P, » seront égaux ; alors les triangles *q*AG, P*f*G, seront égaux et semblables ; puis- » qu'ils sont rectangles en A, *f*; qu'ils ont, comme on vient de le voir, le » côté A*q*, égal au côté *f*P, et que les angles AG*q*, *f*GP, sont opposés au » sommet. D'où il résulte que le petit côté AG étant égal au petit côté *f*G, le » point G est le centre inscrit dans le second caisson.

» On démontrera de la même manière, pour le troisième caisson, que les » arcs *ptg*, *yz*V, se coupant au point *u*, les triangles rectangles *u*S*t*, P*pt*, » sont égaux et semblables, et qu'il en résulte que le petit côté *t*S, étant égal » au petit côté *tp*, le point *t* est le centre du cercle inscrit dans le troisième cais- » son. Il en sera de même pour les caissons supérieurs.

SOLUTION.

» Pour le premier caisson : dans le triangle gOC, rectangle en O, on connaît » le côté Og, complément du demi-angle de base DO, et l'angle en g, mesuré » par l'arc DF égal à DO, on trouvera le petit côté, ou rayon CO, par cette » analogie.

» 1re. ANALOGIE. *Le sinus total est au sinus du côte connu*, ici gO, *comme la* » *tangente de l'angle oblique*, ici l'angle en g égal à l'angle en P, première demi- » base, *est à la tangente de l'autre côté du triangle*, ici le petit côté CO » égal à CF.

» Dans le triangle PAE, rectangle en A, on connaît le côte PA cosinus de la » hauteur AO du premier caisson; on trouvera le petit côté AE, par la même » analogie et de la même manière qu'on vient de trouver le petit côté CO du » triangle gOC.

» Pour le second caisson, dans le triangle PAE, rectangle en A, on connaît le » côté PA, complément de la hauteur ACO du premier caisson, et l'angle en P, » mesuré par l'arc DO, on trouvera le petit côté EA, par l'analogie précédente, » et on obtiendra l'hypothénuse PE par cette autre analogie.

» 2e. ANALOGIE. *Le cosinus de l'angle oblique connu*, ici gO *est au sinus total* » *comme la tangente du côté connu*, ici PA *est à la tangente de l'hypothénuse* » *cherchée*, ici PE.

Nota. Comme ces deux analogies sont les seules dont on fera usage dans » l'opération des caissons, elles n'y seront indiquées que par 1re. et 2e. analogie.

» On déduira le petit côté AE, trouvé à la suite du premier caisson, de l'hy- » pothénuse PE, qu'on vient d'obtenir par la 2e. analogie; il restera le côté Pf » du triangle PfG, rectangle en f, dont on connaît l'angle en P, mesuré par » la demi-base DO. On trouvera ensuite le petit côté ou rayon fG, par la » 1re. analogie.

» La démonstration est la même pour les centres des caissons supérieurs.

CONSTRUCTION GRAPHIQUE.

» On pourra établir la présente construction sur une epure en grand, en » battant le cordeau, afin de pouvoir effacer les lignes à mesure qu'on aura obtenu » les hauteurs des caissons; la moitié du cercle de la voûte pourra suffire.

» Soit, Figure 2, un cercle PLgD, le plan d'une voûte sphérique. Je suppose » ici, pour que l'opération soit plus sensible, que ce cercle n'est divisé qu'en huit » parties, qui doivent servir de bases à autant de caissons, et que l'arc OD, mesure » de l'angle DHO est la moitié d'une de ces divisions. Par un point M, pris à » volonté sur le rayon HO, on mènera MF, parallèle au diamètre LD, qu'on » coupera à angles droits par le second diamètre gP. Par le point I, où ce second

» diamètre coupe la ligne MF, on mènera IK, parallèle au rayon HO; au point M » on élèvera aux lignes MI, HO, les perpendiculaires MK, MN; à l'intersection K » des lignes IK, MK, on prendra MK qu'on portera en MN, et on tracera le » rayon HNC. La corde de l'arc OC sera le rayon du cercle inscrit pour le » premier caisson.

» Les arcs *g*O, OD, OC, sont représentés par les mêmes lettres sur la Fig. 1.

» Pour obtenir le centre du second caisson, on portera deux fois l'arc OC de » D en A, l'arc DA sera la hauteur du premier caisson, et l'arc AP son complé- » ment. Par un point *a*, pris à volonté sur le rayon HA, on mènera la ligne *aq*, » parallèle au diamètre LD, qui coupera au point *b* le diamètre *g*P; par ce » point *b* on mènera *dm* parallèle à HO; ou, ce qui revient au même, on fera » l'angle *a b d* égal au premier angle de base DHO. Par le point *a* on mènera » aux lignes *aq*, HA, les perpendiculaires *ad*, *ae*, et le point *d* étant à la ren » contre de la ligne *md*, on portera *ad* en *ae*; par le point *e*, on mènera le » rayon HB qui donnera sur le cercle l'arc BA. On portera *bd* en *bq*, sur la » ligne *aq*, par le point *q* on tracera le rayon HE; on portera l'arc BA en E*f*, » et on tracera le rayon H*f*, qui coupera au point *h* la ligne *aq*; par ce point *h* on » mènera aux lignes *aq*, H*f*, les perpendiculaires *hm*, *hn*; à la rencontre *m* avec » la ligne *dm*, on prendra *h m*, qu'on portera en *hn*, et par le point *n* on mènera » le rayon HG. La corde de l'arc G*f* sera le rayon du cercle inscrit dans le se- » cond caisson; en portant deux fois l'arc G*f* de A en S, l'arc AS sera le hauteur » de ce même caisson; et l'arc PS sera le complément de la hauteur des deux pre- » miers caissons.

» Il est essentiel d'observer que l'angle *dba* est toujours égal à l'angle OHD.

» La même opération donnera les centres des caissons supérieurs.

» Le tracé des caissons dans les voûtes sphéroïdes exige une autre méthode; » celle que je viens de donner ne peut s'appliquer qu'aux voûtes exactement » spériques, et je la crois en ce cas préférable, par sa précision, au tracé par » les développemens.

(Extrait d'un mémoire sur les dimensions des fers qui doivent former la coupole de la Halle aux Grains, imprimé en 1809, par ordre du ministre de l'intérieur.)

Le système de cette savante construction, dont nous avons suivi l'exécution en qualité d'inspecteur général, se trouve développé dans le plus grand détail au numéro CLXIV des planches.

CHAPITRE TROISIEME.

DES VOUTES COMPOSÉES.

Pendentifs, ou voûtes sphérico-cylindriques, rachetant la base des dômes érigés sur plan carré.

Les pendentifs sont des parties de voûtes sphériques ou sphéroïdes qui résultent du retranchement de plusieurs portions de ces voûtes par des plans verticaux et horizontaux. On fait usage de pendentifs pour établir un plan circulaire ou elliptique sur un plan carré ou rectangulaire, ou sur un polygone quelconque dans lequel il paraît inscrit. Les dômes qu'on élève au-dessus de la croisée des nefs d'une église sont érigés de cette manière. Lorsque le plan de la croisée est un carré, les faces des arcades qui forment l'ouverture des nefs peuvent être considérées comme des plans verticaux qui retranchent d'une voûte sphérique quatre segmens, et la base de la tour comme un cinquième plan horizontal qui supprime la partie supérieure de la voûte; en sorte qu'il ne reste de cette voûte que quatre triangles sphériques. Afin de corriger le mauvais effet qui résulte de ces triangles qui paraissent ne porter que sur une pointe, et d'agrandir en même temps le diamètre du dôme, les architectes ont formé dans plusieurs édifices de ce genre, un pan coupé en ligne droite, comme aux dômes de Saint-Pierre de Rome, des Invalides, de la nouvelle église Sainte-Geneviève, et autres. Il résulte de cette disposition que la face des pendentifs n'est plus une partie de voûte sphérique, mais une surface irrégulière, dont une moitié est représentée en plan et en élévation par ABCD Fig. 1, 2, 5 et 6, Planche LI, que M. Frezier indique sous le nom de surface sphérico-cylindrique, terminée par trois arcs de cercle et une ligne droite pour sa base.

Si, au lieu d'une ligne droite Aq, on prenait pour base l'arc de cercle AH, décrit du centre du dôme marqué E, le pendentif deviendrait une partie de voûte sphérique régulière qui ne présenterait pas plus de difficultés que les pendentifs des voûtes sphériques inscrites dans un carré ou polygone quelconque; et l'on éviterait ainsi la difformité des surfaces gauches dont l'effet est si choquant aux pendentifs du dôme des Invalides. Cette base courbe n'empêcherait pas que la partie des piliers qui y répond ne fût en ligne droite. La différence serait d'autant moins sensible qu'il se trouve toujours une corniche, une

plinthe ou une saillie quelconque à l'endroit de leur jonction. Alors toutes les courbes comprises dans des plans verticaux tendans à l'axe du dôme, seraient des cercles majeurs de la sphère, dont le rayon est AE.

Il faut de plus observer que dans le cas même où l'on voudrait conserver la ligne droite AB, la partie ADG pourrait toujours être un triangle sphérique. Pour la partie AGCB, elle serait aussi formée par des arcs de cercle placés dans des plans verticaux tendans à l'axe dont les rayons seraient différens pour chacun, et dont les centres seraient sur le même plan horizontal où se trouve celui de la partie sphérique; la grandeur des rayons des arcs de la partie mixtiligne augmenterait à mesure qu'ils s'éloigneraient de AG, en sorte que le plus grand serait celui de l'arc BC du profil, Fig. 7, dont le centre est en I.

Appareil des pendentifs par rangs de voussoirs horizontaux.

Cette disposition d'appareil est celle qui convient le mieux pour la solidité et dont l'exécution est la plus facile. La projection de ces rangs de voussoirs est exprimée en plan par des arcs de cercles concentriques pour les triangles sphériques AGD, Fig. 2 et 6, et par des courbes qui iraient en se redressant depuis GC jusqu'à AB.

Pour avoir ces courbes, il faut supposer entre G et C autant d'arcs verticaux qu'on voudra avoir de points pour chaque courbe, et les réunir en profil Fig. 3, en sorte qu'ils aient un point commun B : ainsi, on portera AG, *ab*, *cd*, BC, projections en plan de ces arcs, de O en C, *d*, *b*, G, Fig. 3, et on tirera les cordes BG, B*d*, B*b* et BC, sur le milieu desquelles on élèvera des perpendiculaires indéfinies qui couperont l'horizontale BI en 1, 2, 3, I qui seront les centres de chacun de ces arcs. On prendra les distances de la directrice BO aux intersections formées par ces arcs et par les hauteurs d'assises, qu'on portera sur leur projection en plan, Fig. 2. Par exemple, pour l'arc BG on prendra la distance des points *p*, *n*, *l*, *i*, *g* et *e* à cette directrice BO qu'on portera sur le plan de A en *p*, *n*, *l*, *i*, *g* et *e*; quand on aura opéré ainsi pour les autres arcs, on fera passer par tous ces points les courbes *ef*, *gh*, *ik*, *lm*, *no* et *pq*, qui vont en se redressant de GC en AB.

Ensuite, on décrira des points *e*, *g*, *i*, *l*, *n*, *p*, et de E comme centre des arcs jusqu'à la rencontre de AD qui indiqueront, de même que les courbes ci-dessus désignées, les saillies correspondantes à chaque ligne ou joint horizontal.

Ces arcs dont la projection en plan, Fig. 2, est indiquée par les lignes droites 9, 10; 11, 12; 13, 14; 15, 16; 17, 18; 19, 20 et AG qui tendent au centre de la sphère, sont désignés par les mêmes indications sur la Fig. 3. On lève sur chacun d'eux les courbes qui servent à tracer les pierres, et à guider ensuite dans l'opération du ravalement. Il faut remarquer que ces arcs, qui représentent des sections faites par des plans verticaux qui se croisent à l'axe, ont leur centre sur la même, mais non pas tous au même point, comme les grands cercles de la sphère.

Pendentifs appareillés en trompe, ou par voussoirs disposés en forme de panache.

Cette disposition de voussoirs, qui vont en s'élargissant par le haut et qui sont renfermés entre des joints montans continus, a fait donner aux pendentifs où elle a été pratiquée le nom de panaches.

La surface des panaches est supposée formée par des arcs de cercle comme les pendentifs; mais ces arcs, au lieu d'être compris dans des plans qui tendent à l'axe du dôme, sont compris dans des plans qui se réunissent dans l'intérieur de chaque pilier, à une verticale dont la projection est le point K.

Pour que ce genre d'appareil produise un bon effet, il ne faut pas que la division des joints montans soit faite sur l'arc entier CD du plan, Fig. 6, mais sur la partie CM, afin d'éviter la trop grande maigreur des arêtes du rang de voussoirs qui doit joindre AD.

La partie MD de l'arc AD appartient à l'appareil de cet arc, dans une étendue qui peut être le quart ou le cinquième de l'arc CD : ici elle se trouve un peu plus petite que le quart.

Pour tracer la projection de ces joints, on a commencé à diviser CM en neuf parties égales, dont on a donné une à la moitié de la clef ou rang de voussoirs répondant au milieu du pendentif, et deux de ces parties pour chacun des autres voussoirs : ensuite ayant continué AD jusqu'à la rencontre de CB prolongée en K, on a tiré de ces points à ceux de division 1, 2, 3 et 4, des lignes droites qui coupent AB aux points 5, 6, 7, 8 : ces lignes 1, 5; 2, 6; 3, 7; 4, 8, expriment la projection des cordes des arcs qui doivent former les joints montans des voussoirs. En reportant ces points sur l'élévation, Fig. 5, où ils sont marqués des mêmes chiffres, on tirera de même les cordes; mais ni celles du plan, ni celles de l'élévation ne donnent leur véritable longueur à cause

de leur double obliquité. Pour les avoir, il faudra, apres avoir tiré l'horizontale indéfinie CD Fig. 7, lui mener une perpendiculaire O'B égale à B'C' de l'élévation, et porter sur CD les distances O'1, O'2, O'3, O'4, O'D égales à B, C; 5, 1; 6, 2; 7, 3; 8, 4; 8, D du plan; ensuite tirer les lignes BC', B1, B2, etc., qui seront les cordes des arcs que l'on cherche. On trouvera leurs centres en élevant sur le milieu de chacune, des perpendiculaires qui couperont l'horizontale BN aux points 4, 5, 6, 7, 8, etc., qui seront les centres des arcs correspondans à chacune de ces cordes. Ayant ensuite prolongé les lignes 17, 18, 19, etc., etc., des joints horizontaux de chaque voussoir en élévation, de manière qu'elles coupent les arcs que l'on vient de tracer, ces intersections serviront à trouver les projections en plan des joints horizontaux, en portant leur distance de la ligne OB sur les lignes 1, 5; 2, 6; 3, 7; et 4, 8 du plan, à partir de la ligne AB. Ainsi pour le joint P 21 du profil, Fig. 7, on portera P'*a* sur la plan de B en *g*; P'*b* de 5 en *i*; P'*c* de 6 en *m*, et P'*d* de 7 en *o* : par les points *g*, *i*, *m*, *o*, on tracera une courbe qui sera la projection des joints situés sur la ligne P 21.

La projection en plan de ces joints et leur intersection avec ceux représentés par les lignes 1, 5; 2, 6; 3, 7; 4, 8, fournissent un moyen facile de tracer le raccourci des joints montans dans l'élévation Fig. 5, en portant les distances entre ces intersections et la ligne BC du plan, sur les lignes droites qui indiquent les joints horizontaux dans cette élévation, depuis la verticale B'C'.

Pour faire tailler les voussoirs de ces pendentifs, il ne faut pour l'une et l'autre manière que des cerces faites d'après les courbes développées des joints horizontaux et verticaux. La Figure 4 fait voir la forme des voussoirs de la quatrième assise appareillée par rangs horizontaux, indiquée par les lettres *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, etc.; et la Fig. 8, un voussoir de la partie appareillée en trompe.

On ne peut s'empêcher d'observer que cette seconde manière est sujette à plus de difficultés, et qu'elle a encore le désavantage d'occasioner une très-grande poussée contre les arcs.

Voûte d'aréte annulaire ou en plan circulaire

Cette espèce de voûte, dont une partie est représentée par les Fig. 1 2, 3 et 4, Planche LII, est composée de deux berceaux de différente nature qui se croisent. Le principal AHDE, compris entre deux murs circulaires concentriques, est appelé voûte annulaire. Cette voûte est

traversée par une espèce de berceau conique irrégulier IGQS formant lunettes, qui a dans toute sa longueur la même hauteur de cintre que la voûte annulaire, mais dont la largeur va en augmentant, à cause de la tendance des lignes dans lesquelles elle est comprise, au centre des circonférences des murs de la voûte annulaire. Comme les cintres surhaussés ne produisent jamais un bon effet, on a pris pour cintre primitif le quart de cercle MS, Fig. 4, qui a pour rayon la plus petite largeur QS. Il en résulte que la courbure à partir de cette ligne, est formée par des quarts d'ellipses différentes dont le demi-grand axe va en augmentant depuis QS jusqu'à IG, tandis que le demi-petit axe reste le même. Les arêtes CB, CF des lunettes, formées par le croisement des berceaux, sont à double courbure.

Le père Dérand est le premier qui ait parlé de cette espèce de voûte; mais la méthode qu'il donne pour en tracer l'épure n'est pas juste. Il indique sur le plan, la projection des arêtes qui forment les lunettes, par des arcs de cercle qu'il fait passer par le point du milieu C et les angles des pieds-droits B et F, tandis que cette projection est une courbe particulière qui ne peut être déterminée que par l'intersection des joints correspondans des berceaux qui se croisent. M. Delarue a adopté la même méthode qu'il a cherché à rectifier. La faute de ces auteurs est d'avoir voulu déterminer la réunion des joints horizontaux d'après la courbe des arêtes, au lieu de suivre celle que donne naturellement la rencontre des joints. M. Frézier a relevé cette erreur dans le Chapitre IX du VIIIe. Livre de son Traité de la Stéréotomie.

Au reste, il n'y a de difficile dans cette espèce de voûte que les voussoirs formant les arêtes des lunettes. Le meilleur moyen, pour opérer avec précision, est celui que nous avons ci-devant indiqué pour les voûtes d'arêtes irrégulières et hexagonales, page 149 et suivantes, et pour les voûtes sphériques, pages 174 à 178. C'est-à-dire qu'après avoir tracé en plan la projection des voussoirs formant les arêtiers, tels que 1, *f*, 6; 2, *g*, 5; 3, *h*, 4, on en lèvera les panneaux à l'aide desquels on fera tailler des prismes à base mixtiligne. Sur les faces droites du solide, telles que 2, 7 et 5, 8, on appliquera d'autres panneaux *k*, *b*, *c*, *l* et b^2, c^2, V, l^2 pris sur les cintres exprimés par les Fig. 2 et 3 Ces deux panneaux suffisent pour développer toutes les faces de ces voussoirs, ainsi qu'on le voit par les Fig. 7 et 8.

Nous observerons seulement que, pour former régulièrement les

parties de surfaces creuses, il faut se servir d'une règle droite pour le côté 2, *g*, *f*, 7, et de règles plus ou moins courbes en plan, comme des règles pliantes, mais droites en dessous, pour l'autre côté *g*, *f*, 5, 8, telles que *f*, 8 et *g*, 5; et de petites cerces taillées d'après les parties de cintre *b*, *c* et b^2, c^2, Fig. 2 et 3.

Trompe en tour ronde, érigée sur un mur droit.

Cette espèce de trompe n'a aucun rapport avec celles dont il a été ci-devant question, et peut être considérée comme une voussure qui soutient une tour ronde. La plus grande saillie que l'on puisse donner à la partie de tour qu'elle soutient, ne doit pas excéder les deux tiers du rayon de sa courbure extérieure, et il faut que le cintre de la voussure ait plus de hauteur que de saillie : quant à la courbure du cintre de cette voussure, elle dépend de celle que l'on prend pour cintre primitif. Dans l'exemple représenté par la Figure 9, nous avons choisi pour cintre un demi-cercle. Pour trouver la courbure de la voussure, nous avons considéré le cintre primitif comme la base d'un demi-cylindre horizontal qui en rencontre un autre plus grand, posé verticalement, qui est celui de la tour. La courbe formée par la rencontre de ces deux cylindres, nous a indiqué celle que doit former l'arête de la tour qui est aussi celle de l'arête de la voussure.

Cette courbe étant symétrique et à double courbure, si l'on imagine des lignes droites tirées de tous les points d'une moitié à l'autre, elles formeront la surface de la voussure qui soutient la tour. On aura le profil de cette voussure en abaissant des points de division *a*, *b*, *c* du cintre primitif, des lignes parallèles à la verticale sur le plan, Fig. 10; et tirant d'autres horizontales *a*, a''; *b*, b''; *c*, c'', pour avoir les hauteurs et les saillies, sur le profil, Fig. 11; on portera ensuite les distances 1, *c*; 2, b'; 3, *a* du plan, en C'', 1; C'', 2; C'', 3 du profil; par ces points, on élèvera des perpendiculaires qui couperont, aux points a'', b'', c'', les horizontales tirées des mêmes points sur l'élévation. Les intersections de ces lignes indiqueront la courbure du profil de la voussure, qu'on aura avec d'autant plus d'exactitude qu'on aura multiplié davantage les points de division. Ainsi cette courbe ne peut pas être à volonté, comme l'ont prétendu plusieurs auteurs, un arc de cercle, une partie d'ellipse, d'hyperbole ou de parabole; c'est une courbe mécanique qui est le résultat nécessaire de la rencontre de deux sur-

faces courbes de cylindre. Cette courbe est celle que M. Frézier désigne sous le nom de cycloïmbre, Livre Ier., Théorème XVIII.

Pour tracer les voussoirs dont cette trompe se compose, il faut commencer par faire tailler, pour chacun, la plus grande face qu'il doit avoir : ainsi, pour le second voussoir, que nous supposons former l'épaisseur du mur, on commencera par indiquer sur l'élévation et le plan la masse carrée 1, 2, 3, 0 Fig. 9, et 4, 5, 6, 7 Fig. 10, dans laquelle il doit être compris; on lèvera le panneau *m*, *i*, *o*, *n*, *k*, *p* Fig. 9, exprimant le contour qu'il doit former sur la face droite du mur, indiqué en plan par GH; et le panneau 4, 8, $b^{\prime}$, B, 9, 5 de sa projection en plan, Fig. 10. Ayant fait tailler, à angle droit, les deux surfaces droites correspondantes, l'une à la ligne 4, 5 du plan, et l'autre à celle 1, 0 de l'élévation, on appliquera sur la premiere le panneau *m*, *i*, *o*, *n*, *p*, *k*, et le panneau 4, 8, $b^{\prime}$, B, 9, 5 sur la seconde, pour y tracer leur contour. Après avoir fait tailler les joints droits *m*, *i* et *n*, *k*, on y appliquera les parties de panneaux de joints $k^{\prime}$, $c^{\prime\prime}$, $f^{\prime\prime}$ et $i^{\prime\prime}$, $b^{\prime\prime}$, $e^{\prime\prime}$, prises sur la Fig. 13, pour tracer leur contour; d'après lesquels, et celui tracé sur le lit supérieur *i*, *o*, on abattra la pierre pour former la surface convexe de la partie répondant à la tour qui doit être d'équerre avec le lit de dessus. On formera la surface *m*, *b*, *n*, *c* avec une courbe découpée d'après le profil Fig. 11, posée toujours verticalement ou d'aplomb, comme l'indiquent les lignes *bs*, *tv*, *cx*. Quant au joint courbe *m*, *n*, il doit être creusé perpendiculairement au parement intérieur du mur qui est représenté par la première surface droite.

La Fig. 14 indique ce voussoir développé. Quant au développement Fig. 12, comme il ne pourrait être appliqué que sur la surface déjà faite de la voussure, on peut s'en dispenser.

La méthode que nous venons d'enseigner paraîtra, au premier abord, devoir entraîner une grande perte de pierre; mais il faut faire attention que nous n'indiquons que deux surfaces préparatoires qui doivent servir, et qu'il n'est pas nécessaire, à cause des panneaux dont nous avons fait usage, que la pierre porte toute la partie indiquée en plan par $b^{\prime}$, $B^{\prime}$, 9, 7; il suffit qu'elle puisse porter les points $b^{\prime}$, $c^{\prime}$, $B^{\prime}$. Il en est de même de la partie triangulaire 1, *m*, *i* de l'élévation.

SIXIÈME SECTION.

APPAREIL DES ESCALIERS EN PIERRE

CHAPITRE PREMIER.

DE LA VIS SAINT-GILLES SUR UN PLAN CARRÉ.

Cette voûte, représentée par les Fig. 1, 2 et 3 de la Planche LIII, paraît avoir été ainsi nommée, parce qu'elle correspond à des marches qui tendent toutes à un même point, comme dans la vis Saint-Gilles ronde (Voyez ci-après, page 208). C'est un composé de voûtes d'arête et d'arc de cloître gauches et rampantes, dont l'exécution présente beaucoup de difficultés. Il n'y a que les cintres répondant aux arêtes des marches perpendiculaires aux milieux des faces qui puissent être droits; tous les autres sont obliques et forment des ellipses plus ou moins allongées en raison des marches auxquelles ils répondent.

Le plan de cette voûte étant régulier, on s'est contenté de faire la moitié de sa projection horizontale ABCD Fig. 1; l'autre étant tout-à-fait semblable n'aurait présenté qu'une répétition inutile à notre objet. On a choisi pour cintre primitif une demi-circonférence de cercle IKL élevée perpendiculairement sur IL comme diamètre. C'est sur cette demi-circonférence qu'on a fait la division des voussoirs indiqués par les points *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, par lesquels on a tiré des parallèles aux faces BC et FG du mur et du noyau, jusqu'à la rencontre des diagonales FB et GC. Ces lignes qui indiquent la projection des rangs de voussoirs, formeraient dans la projection en plan de la voûte entière, des carrés inscrits les uns dans les autres, comme l'épure d'une voûte d'arc de cloître.

Les deux moitiés du cintre primitif sont représentées dans la coupe Fig. 2 avec l'épaisseur de la voûte extradossée horizontalement, dans le sens de la direction des marches qu'elle doit soutenir. Cette Figure présente une coupe de la partie de voûte rampante formant arc de cloître le long du mur BC et de la partie en retour CD, avec la projection des joints correspondans à ceux indiqués en plan par *aa*, *bb*, *cc*.

La Fig. 3 présente la moitié de la coupe du côté du noyau, formant voûte d'arête avec les pentes des joints correspondans à ceux du plan *ff*, *ee*, *dd*.

Avant d'indiquer les moyens de tracer les pierres pour former les voussoirs d'après ces différentes projections, il est à propos de rap-

peler quelques-uns des principes que nous avons expliqués au commencement de ce Livre.

1°. Les arêtes et les surfaces des corps solides ne peuvent être représentées, dans toute leur étendue, que sur le plan dans lequel elles pourraient être comprises, ou sur un plan parallèle.

2°. Une projection quelconque peut être considérée comme la réunion sur un même plan, de toutes les parties qui peuvent être projetées sur ce plan par des perpendiculaires, abstraction faite de leurs distances entre elles et à ce plan.

3°. La nécessité de faire abstraction des distances perpendiculaires aux plans de projection, oblige ensuite à chercher la véritable grandeur des objets qui ne sont pas parallèles à ces plans, sur des lignes qui sont censées représenter en profil les plans des projections horizontales et verticales.

La projection horizontale ne peut exprimer, dans toute leur étendue, que les lignes et les surfaces comprises dans des plans qui lui sont parallèles.

De même les profils, coupes ou sections représentés par les Fig. 2, 3, ne donnent les dimensions exactes que des lignes ou surfaces comprises dans des plans verticaux qui leur sont parallèles.

Ce qui vient d'être dit rendra plus facile l'application de la méthode précédente, au tracé des voussoirs de l'espèce de voûte dont il s'agit, qui doivent avoir toutes leurs surfaces gauches. Cette méthode diffère peu de celle indiquée par M. Frézier, Livre IV, Chapitre VII de son Traité de Stéréotomie.

On commencera par indiquer sur les projections en plan et en élévation, le voussoir que l'on veut exécuter, afin de lever les panneaux qui comprennent ses plus grandes dimensions en longueur, largeur et hauteur : ayant ensuite fait tailler un prisme qui ait pour base le panneau de sa projection en plan, sur les surfaces verticales de ce prisme, on tracera avec des panneaux levés sur les projections correspondantes, les lignes droites ou courbes pour développer les surfaces qui doivent déterminer sa forme.

Tous les auteurs de coupe des pierres qui ont donné le trait de cette espèce de voûte, font les joints de tête des voussoirs de chaque rang, selon la direction des marches, d'où il résulte des angles aigus en plan et en élévation qui sont contraires à la solidité.

Cette disposition vicieuse ne peut avoir pour objet qu'une plus grande facilité pour le développement des voussoirs. Cependant, puisqu'on est obligé, à cause de l'inégalité des marches, de chercher le rallongement de chaque courbe qui répond aux sections verticales faites selon la direction de ces marches, il ne sera pas plus difficile de chercher la courbe produite par des sections perpendiculaires à l'axe de chaque partie de berceau. Il n'y a de différence qu'en ce que les courbes qui répondent à la direction des marches sont des cintres surbaissés, dont les naissances sont de niveau, tandis que celles qui résultent des sections perpendiculaires à l'axe sont des arcs rampans.

Pour tracer la partie d'arc rampant que doit former le joint *gh*, Fig. 1 et 2, il faut diviser les arcs *ab* des cintres primitifs Fig. 2 d'où elle dérive en parties égales, et mener par les points de division des lignes qui coupent la ligne *gh*, qu'on peut regarder comme le profil d'un plan vertical passant par ce joint. Ces intersections donneront les hauteurs qui, à partir du point *h*, doivent répondre aux saillies données en plan Fig. 1 par les parallèles tirées des points de division de l'arc primitif *ab*, sur la projection du même joint indiqué en plan par gh^1 où cette ligne représente, comme *gh* de la coupe, la projection du plan vertical qui forme ce joint.

Pour tracer la courbe qui répond à gh^1 du plan, il faut porter sur les parallèles qui indiquent les saillies, les hauteurs *h*3, *h* 4 et *gh* du joint *gh* en élévation Fig 2, de 3 en 3^1, de 4 en 4^1 et de *g* en g^1 du plan Fig. 1, et tracer avec une règle pliante par les points h^1, 3^1, 4^1, g^1 une courbe qui exprimera la partie d'arc rampant du joint indiqué par *hg* sur le plan et l'élévation Fig. 1 et 2. On opérera de même pour trouver les courbes qui répondent aux autres joints. Il faut remarquer que celles qui répondent perpendiculairement aux milieux des faces des murs et du noyau sont des portions du cintre primitif. Quant aux cintres qui répondent à la direction des marches, ce sont des moitiés d'ellipses dont le petit demi-axe, indiquant la hauteur du cintre, est toujours le même, tandis que le grand axe qui est de niveau se trouve représenté par la ligne tendante au centre à laquelle il répond. Ces ellipses, qui se tracent facilement par le moyen des foyers, servent à former des courbes pour le ragrément lorsque la pose de la voûte est achevée.

Les Fig. 4 et 5 indiquent la manière de tracer le second voussoir d'arêtier. La première exprime la projection horizontale M qui doit servir

de panneau de base pour tailler le prisme dans lequel est compris ce voussoir. L'autre présente l'élévation du prisme vu sur l'angle, dans lequel on a développé le voussoir par le moyen des panneaux de joints B et C placés à droite et à gauche, où ils sont représentés dans toute leur étendue.

Les Fig. 6 et 7 expriment les projections, horizontale et verticale du voussoir formant la clef de l'arêtier indiquée par N dans le plan Fig. 1.

Cette projection répétée par la Fig. 6, donne le panneau de la base du prisme dans lequel cette clef est comprise. La Fig. 7 représente sa projection verticale vue sur l'angle, afin de faire paraître les joints sur lesquels doivent être appliqués les panneaux E et F représentés dans toute leur étendue.

Enfin les Fig. 8 et 9 expriment les projections horizontale et verticale du second arêtier du côté du noyau, formant voûte d'arête, dont la projection est indiquée par la lettre O dans le plan Fig. 1 et rapportée à la Fig. 8, afin de servir de panneau pour la base du prisme dans lequel est compris ce voussoir. H, I, sont les panneaux des joints développés.

Les projections horizontale et verticale ont été faites d'après les principes que nous avons ci-devant expliqués, en rapportant toutes les longueurs et largeurs à un seul plan horizontal, et les hauteurs à un même plan vertical.

Quant aux panneaux de joints exprimés en plan et en élévation par les lignes droites gh, on a rapporté toutes les largeurs et hauteurs sur ces lignes.

Ainsi, pour le second voussoir représenté par la Fig. 5, on a commencé à élever de tous les points des lignes pg et gp du plan Fig. 4 des perpendiculaires indéfinies, et une du point b sur laquelle on a pris un point a pour représenter l'angle rentrant inférieur de ce voussoir. Ayant ensuite porté en dessus en r, et en dessous en k, la mesure de la pente des parties montantes et descendantes, on a mené par les deux points r et k, des horizontales qui déterminent les points h et h^1 de l'élévation, par leur intersection avec les perpendiculaires élevées des points correspondans du plan et indiqués par les mêmes lettres. On a ensuite tiré la ligne inclinée hah^1 pour représenter l'arête apparente des joints inférieurs du voussoir.

Pour avoir le contour de la branche descendante de ce voussoir depuis le point a, on a pris les hauteurs h, 2, 3, 4, g, n, indiquées sur le

joint d'aplomb gh du cintre Fig 2, on les a portées sur les perpendiculaires élevées des points correspondans de la Fig. 4, à partir de l'horizontale du bas passant par le point h.

Pour la branche montante, on a pris les hauteurs sur le joint d'aplomb $g^{\prime}h^{\prime}$ du cintre du bas, même Figure, indiquées par les lettres $h^{\prime\prime}$, 8, 9, $g^{\prime\prime}$ $n^{\prime\prime}$ qu'on a porté de même sur les perpendiculaires élevées de la Figure 4, à partir de l'horizontale du haut passant par les points r, $h^{\prime}$.

On trouve les divisions sur les lignes à plomb gh et $g^{\prime}h^{\prime}$, qui désignent les joints, en tirant des arêtes 7, a, b, 12 du profil du second voussoir du cintre d'arêtier du bas, à celles de son correspondant du cintre du haut 2, a, b, 6, des lignes qui coupent les projections verticales de ces joints. Cette opération est fondée sur ce que dans le plan Fig. 1, les arêtes des rangs de voussoirs forment des lignes droites qui vont du cintre de la diagonale BF à celui de la diagonale GC.

Il faut remarquer que les cintres rallongés de ces diagonales se trouvent représentés dans l'élévation par les demi-circonférences de cercle, parce que le plan de projection sur lequel ils sont exprimés est parallèle aux plans des demi-cercles dont ils proviennent, et qui forment le cintre primitif des berceaux rampans.

On peut en dire autant des autres voussoirs. Pour en faciliter l'intelligence, on a indiqué par les mêmes chiffres et les mêmes lettres toutes les parties qui se correspondent, dans les différentes Figures qui servent à leur développement.

Pour bien entendre cette pièce de trait, qui est une des plus compliquées de la coupe des pierres, il est nécessaire d'en faire le modèle divisé en voussoirs, afin de résoudre toutes les difficultés qu'elle présente et de lever les inconvéniens qui s'y rencontrent. Par exemple, il faut que les voussoirs d'arêtier qui forment les angles des murs, tel que le second représenté par la Fig 5, forment dans l'intérieur de petites surfaces carrées de niveau déterminées par le prolongement des arêtes intérieures des coupes, à partir du point de l'angle où elles se rencontrent; ces carrés sont indiqués dans la Fig. 4, par s, t, v, k pour le lit de dessous, et par x, y, z, k pour celui de dessus, afin d'éviter la gauche des joints de lits rampans formant tas de charge, et de donner plus de stabilité à ces angles. C'est pour la même raison que nous avons observé une partie de niveau aux premiers voussoirs indiqués par kl, Fig. 2.

L'emploi des vis Saint-Gilles rondes et carrées est extrêmement rare, cette dernière même est presque inexécutable en raison des difficultés qu'elle présente, et de la dépense qu'elle occasionerait. D'ailleurs, on n'en saurait attendre aucun bon effet, et il ne peut jamais y avoir nécessité d'en faire usage. Les marches qui portent coupe peuvent se soutenir sans ce moyen, et offrent en dessous une superficie plus régulière et moins désagréable. On peut ajouter que la disposition de ces marches, qui tendent à un même centre, est moins commode dans un carré que dans un cercle, et qu'elle devient même dangereuse aux angles du noyau où les marches se resserrent davantage.

CHAPITRE DEUXIÈME.

DE LA VIS SAINT-GILLES RONDE.

Cette vis est une espèce de voûte annulaire rampante, disposée pour soutenir les marches d'un escalier tournant autour d'un noyau plein ou évidé. Le nom par lequel on la désigne lui vient de ce que la première voûte de ce genre, exécutée en pierre de taille, a été faite au prieuré de Saint-Gilles, à quatre lieues de Nîmes, département du Gard.

Le trait de cette voûte passe pour un des plus difficiles de la coupe des pierres, parce que toutes les surfaces des voussoirs sont gauches et les arêtes à double courbure [1].

On a représenté, sur la Planche LIV, le plan, l'élévation et les développemens de cette voûte. Dans le plan Fig. 2, on suppose le noyau vide. A, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, E est le cintre primitif du berceau tournant, selon une rampe uniforme, déterminée par la largeur des marches dont les hauteurs sont toutes égales; mais comme ces marches tendent au centre des murs circulaires, entre lesquels elles sont comprises, leur largeur, qui va en diminuant, donne une pente différente à chaque point de leur longueur; c'est ce qui produit le gauche des joints et des douelles, et la double courbure des arêtes qui rendent l'exécution de cette espèce de voûte très-difficile.

Il faut cependant remarquer que la voûte, en tournant autour du noyau, ne change pas la forme de son cintre ni de ses coupes, en sorte que toutes les sections verticales tendant au même point que les marches, sont semblables au cintre primitif; ce qui fournit, pour son exécution, un moyen plus sûr et moins compliqué que ceux donnés par différens auteurs. Ce moyen consiste à former d'abord la partie de cylindre creux, tel que $a^{\prime}$, x, $m^{\prime\prime}$, y, Figure 6, dans laquelle chaque voussoir est compris, d'après sa projection en plan $m^{\prime}$, $m^{\prime\prime}$, $n^{\prime}$, $n^{\prime\prime}$,

[1] « On pourrait encore faire *une vis Saint-Gilles ronde dans une tour quarrée, ou à* » *plusieurs pans;* ce que personne que je sçache n'a proposé de mettre en pratique, » quoique la chose soit aussi faisable qu'une voûte sphérique sur un quarré; la seule » observation qu'il y aurait à faire, c'est que les cintres rampans des fermeretz (arête » formée par la section d'une voûte par un mur) sur les murs des pans de la tour, se- » raient d'un contour peu agréable à la vue dans le quarré; mais ils le deviendraient » encore davantage à mesure que le polygone augmenterait de côtés. » Frezier, Livre IV, Chapitre IX.

Figure 5, afin de tracer, sur leurs surfaces courbes, les arêtes rampantes qu'ils doivent former, d'après les hauteurs et les largeurs correspondantes des parties de marches auxquelles ils répondent.

Dans les escaliers réguliers, comme celui dont il est question, les marches étant divisées également, donnent, pour le développement des cercles concentriques tels que *b*, *d*, *b*, Fig. 2, des lignes droites plus ou moins inclinées, qui peuvent se tracer sur les surfaces courbes auxquelles elles répondent, avec des règles pliantes comme on le voit Fig. 6.

Cette opération faite pour les arêtes m^{I}, m^{II}; n^{I}, n^{II}, du voussoir X, on fera découper la partie rampante qu'elle indique, en formant les douelles plates d'extrados et d'intrados. Cette dernière n'est que préparatoire. Pour finir de tracer le voussoir, on appliquera sur chaque bout, coupé verticalement, la partie du panneau *m*, *c*, *d*, *n* du cintre primitif, Fig. 1 et 2, qui lui répond. La courbe d'intrados et les coupes étant tracées sur les têtes des voussoirs, on mènera des arêtes inférieures deux parallèles aux cercles concentriques, sur la douelle provisoire; ensuite, pour former ces coupes, on abattra la pierre en dehors des lignes tracées, en appliquant la règle toujours verticalement d'une courbe à l'autre, et on creusera la douelle d'intrados d'après les courbes tracées sur les deux bouts, et par le moyen d'une cerce découpée sur cette courbe. Il faudra avoir soin de la poser toujours perpendiculairement aux deux courbes des arêtes qui la terminent. Enfin, on achèvera ce voussoir en coupant les deux extrémités n^{I}, 3 et *b*, 4 d'équerre à la douelle plate d'extrados, afin d'éviter les angles aigus et obtus qui en résulteraient si on laissait ces joints à plomb, comme ils sont indiqués dans plusieurs auteurs, contre le principe général de la coupe des pierres.

Autre méthode.

La méthode precédente est, en général, la meilleure à suivre pour l'exécution des modèles, dans l'étude de la stéréotomie; mais, dans la pratique, il en résulterait un déchet de pierre trop considérable, qu'on évitera par la méthode suivante, qui se rapproche plus de celle des auteurs.

On commencera par faire la projection horizontale m^{I}, m^{II}, n^{I}, n^{II} du voussoir X qu'il s'agit d'exécuter, représenté par la Fig. 5; on en fera

l'élévation géométrale Fig. 6, afin de trouver la tranche de cylindre oblique dans laquelle il peut être compris, désignée par les lignes m'', n'' et b'', a'' représentant deux plans parallèles qui passent par les points m'', n'' les plus élevés, et a'', b qui sont les plus bas du voussoir supposé en place, on cherchera le rallongement des courbes que donneraient ces sections.

Ainsi, pour avoir la courbe intérieure, on divisera la corde n', n'' de l'arc exprimé dans la projection horizontale, Figure 5, en parties égales, par lesquelles on élèvera des ordonnées jusqu'à la courbe; on divisera ensuite la corde n^3, n^4, Fig. 7, parallèle à p, q, ou à r, s, en même nombre de parties égales, par lesquelles on lui élèvera d'autres perpendiculaires, et on portera sur chacune la grandeur de celle qui lui correspond dans le plan horizontal.

Cette opération étant faite, pour les deux courbes, donnera le panneau m^3, m^4, n^3, n^4 pour tracer la tranche de cylindre oblique dans lequel doit être compris le voussoir, et qui pourra être formée avec une pierre dont l'épaisseur serait égale à la distance comprise entre les obliques pr et qs, Figures 6 et 8. Cette pierre doit avoir un parement droit d'équerre aux deux surfaces parallèles, répondant à la corde n', n'' de la courbe intérieure, afin d'y tracer d'après l'élévation les lignes verticales n' b' et n'' b'' qui doivent servir à fixer la position du panneau m^3, m^4, n^3 n^4, avec lequel on doit tracer les contours du dessus et du dessous pour former la tranche oblique du cylindre.

Cette tranche étant faite, on tracera sur les surfaces courbes intérieure et extérieure, les lignes de rampe en raison des hauteurs 5, 6, n'', 7, et des largeurs n', 6; 5, 7 des parties de marches auxquelles elles correspondent, en opérant comme nous l'avons indiqué par la méthode précédente, tant pour ces rampes que pour les coupes et les extrémités des voussoirs qui doivent être perpendiculaires aux lignes de rampe.

OBSERVATION.

Tous les auteurs qui ont donné le trait de cette espèce de voûte, ont pratiqué les premiers rangs des voussoirs au-dessus des naissances, dans des assises horizontales, d'où il résulte des joints qui viennent couper obliquement la douelle et former des angles extrêmement aigus. On pourrait éviter cet inconvénient, en faisant porter à cha-

que voussoir une espèce de crossette à angle droit indiquée par les chiffres 3, 4, 5, pour se raccorder avec les pierres des assises horizontales auxquelles ils répondent, comme on le voit représenté à la Fig. 1.

On rencontre rarement l'occasion d'exécuter ces sortes de voûtes, surtout pour des escaliers. On verra, dans le Chapitre IV de cette Section, que l'on peut faire porter aux marches des coupes à recouvrement qui forment de véritables voûtes, et que cette combinaison, qui réunit l'élégance à la solidité, est en même temps d'une exécution plus facile et beaucoup moins dispendieuse.

CHAPITRE TROISIÈME.

DES ESCALIERS A VOUSSURES ET A REPOS.

Grand escalier à repos, soutenu par des voussures rampantes et par des trompes dans les angles, ou par des parties de voûte en arc de cloître.

Ces escaliers présentent un aspect de grandeur et de solidité qui convient aux édifices dont les rez-de-chaussées sont fort élevés, et dont les montées doivent avoir une largeur considérable.

Pour que ces escaliers produisent un bon effet, il faut que la cage, c'est-à-dire l'emplacement qu'ils doivent occuper, forme un rectangle dont la longueur soit plus grande que la largeur, et que la première rampe, qui doit être supportée par un mur d'échiffre, s'élève à une hauteur assez grande pour qu'on puisse passer dessous, et que celle en retour ne paraisse pas trop basse.

On a représenté à la Planche LV les plans, coupes et détails d'un escalier de ce genre. Les Fig. 1, 2 et 6, 7, font voir qu'il peut être voûté de deux manières différentes, c'est-à-dire par des voussures qui se raccordent avec des trompes, ou des parties de voûte d'arc de cloître.

Première manière suivie par le père Derand, Delarue et Frezier.

Soit ABCD une partie de l'espace dans lequel doit être pratiqué l'escalier; on commencera à tracer les parallèles EH, IM, NP, à une distance égale à la longueur qu'on veut donner aux marches. Ces lignes en se croisant formeront deux carrés AEFN, IKPB, et un rectangle EFKI. Il est inutile d'observer que dans le plan entier les carrés des angles indiqueront autant de paliers, et que les quatre rectangles, semblables deux à deux, donneront l'étendue des rampes. Le vide du milieu sera exprimé par un grand rectangle, dont FHMK indique une partie, de même que NFHC et KMDP indiquent des portions de rampes montantes et descendantes. Si l'on veut soutenir les paliers par des trompes, elles peuvent être droites, comme celle représentée par les Figures 3 et 4 de la Planche XLV, dont l'explication se trouve aux pages 164 et suivantes.

Pour en faire la projection, on tirera la diagonale IP, sur laquelle ayant décrit un demi-cercle, ou une demi-ellipse, pour le cintre primitif de la trompe, on fera la division des voussoirs, qu'on renverra sur le

diamètre IP, et on menera une parallèle *mn* à IP pour indiquer le trompillon; ensuite, on tirera du point B, à tous les points du diamètre *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, des lignes qu'on prolongera jusqu'à la rencontre des côtés KI, KP; ces lignes seront les projections en plan des joints de la trompe.

REMARQUE.

Le cône à base circulaire ou elliptique qui forme cette trompe étant coupé par deux plans verticaux KI, KP, parallèles à ses côtés, il doit en résulter, comme nous l'avons déjà expliqué à la page 165, que la section de ces plans est une parabole, et que c'est cette courbe qui doit former le profil des voussures au droit des lignes KI, KP, qui indiquent leur réunion, et non pas un arc de cercle, comme le père Derand et Delarue l'ont indiqué. C'ette erreur se trouve relevée dans l'excellent ouvrage de M. Frezier, déjà cité, Livre IV, IIe. Partie, Chapitre VIII.

Ces auteurs, et Frezier même, au lieu de former les voussures sous les rampes en demi-berceau, et les rangs de voussoirs en ligne droite, comme nous le proposons, les disposent selon des lignes dont la courbure augmente à mesure que ces rangs s'élèvent au-dessus de la naissance de la voussure qui est en ligne droite, en sorte que le dernier rang forme un arc en élévation. Mais ce moyen, qui produit une surface irrégulière et gauche, dont les joints, à double courbure, sont difficiles à raccorder, nous paraît inutile. En effet, une plate-bande rampante offre plus de solidité que tous les arcs qu'on pourrait lui substituer, parce que l'inclinaison de ses joints donne une plus grande saillie de coupe, sans avoir l'inconvénient des angles aigus à l'extrados.

Ceux qui auraient la crainte mal fondée que les joints sans coupe ne se soutiennent pas, peuvent leur faire porter crossette ou y placer des goujons; mais nous croyons ces moyens surabondans, parce que les voussoirs qui forment cette bordure en plate-bande sont maintenus en place par la coupe supérieure du rang de voussoirs, sur lequel ils posent en partie, et par la buttée des trompes des angles.

La manière de tracer les voussoirs des trompes et des voussures ne diffère pas de celle que nous avons ci-devant expliquée pour les descentes droites pages 141, 142; et pour les trompes, pages 163 à 168.

Mais il faut observer que dans l'escalier dont il s'agit, les trompes des angles, au lieu d'être formées par des cônes à base circulaire, qui don-

nent aux voussures plus d'élévation que de saillie, ont été formées par des cônes à base elliptique qui donnent pour les voussures une élévation égale à la saillie.

On voit cependant, par la Fig. 2, que les courbes paraboliques CH, MD que donnent ces cônes, sont encore plus relevées qu'un arc de 60 degrés, ce qui procure une coupe suffisante pour recevoir le rang de voussoirs formant bordure en plate-bande.

Quant aux voussoirs qui forment la réunion de ces deux espèces de voûtes, il faut, après avoir tracé leur projection en plan et sur les coupes ou profils d'élévation, pour indiquer leur plus grande saillie et leur plus grande hauteur, faire tailler des prismes sur les faces desquels on appliquera des panneaux levés sur les projections verticales qui y répondent, ainsi qu'on le voit indiqué par la Fig. 5 faite sur une échelle double, et par les lettres des projections qui y répondent.

Il en est de même des parties de voûte d'arc de cloître qu'on peut substituer aux trompes; on observe seulement que cette dernière disposition ne présente ni un si bon effet, ni autant de solidité que les trompes, à cause de l'angle vicieux que forment les parties de voussures horizontales sous les paliers avec celles qui sont rampantes.

La Fig. 4 indique les ellipses qui passent par les extrémités supérieures des joints de la trompe, et qui déterminent leur élévation; elles ont été tracées par des sections décrites de leurs foyers. Pour trouver les demi-grands axes de chaque quart d'ellipse, on a tiré sur la projection en plan, Fig. 1, des parallèles à IP, par les extrémités I, 1, 2, 3, 4 et K des joints. Pour les demi-petits axes correspondans, on a porté sur le profil, Fig. 3, les distances B*i*, B5, B6, B7, B8, B9, et B*k*. On a levé ensuite, de chacun de ces points, des perpendiculaires jusqu'à la rencontre de la ligne BK, qui représente le profil du cône dans le milieu, et on a fait la hauteur K*k* égale à la largeur IK des rampes.

Deuxième manière.

La Fig. 7 represente l'élévation et partie de la coupe de l'escalier voûté de la seconde manière, c'est-à-dire, avec des parties de voûte d'arc de cloître sous les paliers, dont les naissances sont de niveau.

La projection en plan de cet appareil est représentée par la Fig. 6. On a choisi pour le cintre des voussures des parties d'ellipse, afin d'a-

voir des coupes plus inclinées. Pour les tracer, on a d'abord porté NA de N en B; et de BA, comme diamètre, on a décrit un arc de cercle AG, Fig. 8, dont la corde GA est double de NA, égale à la largeur de la rampe IH, et on a divisé la demi-corde NG en sept parties égales par lesquelles on a mené des ordonnées parallèles à NA. Ayant ensuite tiré les lignes A'N', N'G', Fig. 9, qui forment un angle droit, toutes deux égales à NA de la Fig. 8, on a divisé N'G' en même nombre de parties que NG; et, après avoir tiré des parallèles à A'N', on a porté la longueur des ordonnées de la Fig. 8 sur les correspondantes de la Fig. 9, par le moyen desquelles on a tracé la partie d'ellipse qui répond à l'arc de cercle GA.

La Fig. 10 indique la forme du voussoir de l'angle supérieur I, Fig. 7, qui se raccorde avec les plates-bandes rampantes. Il est dessiné sur une échelle double, et tous ses angles sont indiqués par des chiffres et des lettres correspondans au plan et à l'élévation, Fig. 6 et 7.

CHAPITRE QUATRIÈME.

DES ESCALIERS A JOUR.

Escaliers soutenus par la seule coupe de leurs marches, avec des limons et sans limons.

La Planche LVI représente le plan, l'élévation et les détails d'un grand escalier en pierre de taille, semblable à ceux que l'on a coutume de faire dans les bâtimens d'une certaine importance.

Il y a deux choses principales à considérer dans ces sortes d'escaliers; savoir, les marches et le limon.

Pour se soutenir indépendamment du limon, les marches doivent former en dessous une surface rampante plate et uniforme, terminée d'un côté par une entaille ou crossette exprimée dans les Fig. 2, 5 et 6 par *hcd*, et de l'autre par une coupe *cd*, ou *lk*, perpendiculaire à la face du dessous de la marche. Chaque entaille *hcd*, pratiquée sur le devant d'une marche, s'ajuste avec la coupe *cd* formée sur le derrière de l'autre, ainsi qu'on le voit représenté dans la Fig. 2.

Le scellement des marches le long des murs, et la butée des paliers, complètent, avec les coupes et les recouvremens, un système ingénieusement combiné, et qui se soutient très-bien sans limon.

Dans les escaliers de ce genre, on fait quelquefois profiler les marches par le bout, ainsi qu'on le voit représenté par la Fig. 7. Il convient, dans ce cas, de donner un peu plus de force à la partie de coupe *cd*, qui doit aussi être proportionnée à la fermeté de la pierre : ainsi, pour la pierre de liais de Paris et autres de même nature, cette coupe ne saurait être moindre du tiers de la hauteur de la marche, et le recouvrement *hc* du double.

Il est très-essentiel d'observer que, dans les escaliers sans limon, lorsque les coupes ne sont pas suffisantes, le moindre ébranlement peut faire tourner les marches et échapper les coupes, 1°. si leur scellement dans le mur n'est pas fait solidement; 2°. s'il n'a pas une grandeur suffisante; 3°. si, par une suite de cet ébranlement les marches viennent à se rompre dans leur longueur.

Les limons qu'on ajoute aux escaliers, de quelque manière qu'ils soient appareillés, procurent l'avantage de maintenir les marches à leur extrémité de manière qu'elles ne peuvent pas sortir de leur coupe, étant

retenues d'un côté par le mur, et de l'autre par les parties triangulaires du limon indiquées par *agh*, *agcb*, et *mpo*, dans les Fig. 2, 3, 4, 5 et 6, interposées entre les parties de marches qu'ils soutiennent ou qui en font partie.

Au reste, on ne peut nier qu'il ne soit possible d'augmenter les coupes, ou d'ajuster la rampe de fer de ces escaliers, de manière à suppléer aux parties triangulaires de limon qui entretiennent les marches; mais tous les gens de goût et les bons architectes savent qu'il vaut mieux satisfaire aux données de la saine raison, que d'étonner par une hardiesse de trait dont un appareilleur seul peut tirer vanité. Dans les ouvrages de ce genre, il ne suffit pas qu'ils aient la solidité convenable; il faut de plus qu'ils en aient l'apparence.

Pour exécuter les différentes espèces de marches dont on peut former ces escaliers, on n'a besoin que d'un panneau levé sur la projection en plan, et d'un autre sur l'élévation tels que *ahcd*K, Fig. 7, pour les marches sans limon, *abcdklg* et *ioflknm*, Fig. 6.

Les rectangles qu'on a circonscrits à ces panneaux, font voir que les marches portant limon exigent beaucoup de perte de pierre, surtout pour le moyen indiqué par la Fig. 6; mais les appareilleurs intelligens ont l'art de prendre, dans un même bloc, deux de ces marches; en sorte que le plein de l'une se trouve dans l'évidement de l'autre, ce qui diminue beaucoup le déchet. Voyez Figure 8.

Escalier à jour avec limons arrondis dans les angles, paliers et marches tournantes.

Cet escalier, représenté en plan par la Fig. 1, Planche LVII, et en élévation par la Fig. 2, peut s'exécuter de deux manières différentes; savoir, avec des marches portant limon ou en faisant les limons séparés. Ces deux manières sont également solides; mais la dernière est plus usitée à Paris; l'autre est celle dont on fait usage à Lyon, où la pierre de Choin qu'on emploie a beaucoup de fermeté. Cette seconde manière est aussi celle qu'on suit pour les escaliers en bois [1].

Les marches portant limon, comme celle représentée par la Fig. 3, se font, comme nous l'avons dit pour l'escalier de la Planche précé-

[1] Voyez Livre V, Section II, Chapitre II.

dente, par le moyen d'un panneau levé sur le plan et d'un autre, Fig. 4, pris d'après l'élévation, pour indiquer ses coupes.

Quant aux limons qui sont de deux sortes, c'est-à-dire, droits et courbes, les premiers ne présentent aucune difficulté; mais les seconds, qui doivent former une courbe rampante, pourraient être pris dans des parties de cylindre indiquées en plan, Fig. 1, par KLMN et K'L'M'N', sur les faces courbes desquelles on tracera par le moyen des hauteurs et largeurs des marches, les lignes rampantes qui y répondent, comme nous l'avons ci-devant expliqué pour les voussoirs de la vis Saint-Gilles ronde, page 209; mais comme ce moyen entraînerait un trop grand déchet de pierre, les appareilleurs suivent le second moyen que nous avons indiqué pour le même objet, même page et suivantes.

Ainsi, après avoir tiré sur les élévations Fig. 6 et 9, faites d'après les projections horizontales, Fig. 7 et 10, des parallèles AB, CD, pour indiquer les tranches obliques de cylindre, dans lesquelles doivent être comprises les parties des limons courbes qui répondent aux parallèles AB, CD, l'on formera les panneaux rallongés d'après les projections 7 et 10, en élevant, de tous les points *k*, *b*, *o*, *s*, *p*, etc., de ces projections, des perpendiculaires jusqu'à la rencontre de la ligne *bm* parallèle à la ligne AB; on élèvera ensuite de ces points de rencontre d'autres perpendiculaires à cette base, sur lesquelles on portera les distances ou largeurs correspondantes, prises sur les Figures 7 et 10, à partir des lignes ou cordes *bm* prolongées, s'il est nécessaire : les panneaux étant trouvés, on choisira une pierre qui puisse porter une épaisseur égale à la distance comprise entre les parallèles, et, après avoir fait dresser ses deux surfaces et un parement d'équerre pour fixer les angles *bm* du panneau, on tracera son contour pour la tranche cylindrique dans laquelle le limon rampant est compris. On en fera le développement en traçant les arêtes supérieures et inférieures par le moyen de lignes à plomb et de niveau, correspondantes au profil des marches, ainsi qu'on le voit indiqué par les Figures 6 et 9.

Il faut observer que les surfaces gauches du dessus et du dessous de cette partie de limon, appelée *quartier tournant* par les ouvriers, et *quartier de vis suspendu* par les auteurs, doivent être droites et de niveau dans le sens de la direction des marches prolongées, tels que *qo*, *ts*, *rp*.

On pratique, dans la surface intérieure du limon, des entailles d'en-

viron un pouce et demi (4 centimètres) de profondeur pour recevoir le bout des marches. L'objet de ces entailles est plutôt de les réunir que de les supporter, puisqu'elles se soutiennent par leurs coupes à recouvrement. Au lieu de sceller ces bouts de marche en plâtre ou en ciment, on peut les couler en plomb comme je l'ai vu pratiquer à Lyon. On évite, par ce moyen, les écornures et les brisemens d'arêtes, qui peuvent résulter du contact immédiat de deux matières dures et fragiles, dans le mouvement qui a toujours lieu lorsque la pose de toutes les parties qui composent les escaliers de ce genre, est achevée, et que l'ensemble commence à prendre son assiette. Ce mouvement est la suite de petites irrégularités inévitables, quelques précautions que l'on prenne pour l'appareil, la taille et la pose.

Ce sont ces irrégularités et les effets qui en résultent, qui font que ces escaliers, de même que tous les autres ouvrages de coupe des pierres, exigent un ragrément général, après que toutes leurs parties ont pris une assiette invariable.

Escalier à base circulaire, appelé vis à jour, avec limon et sans limon.

Ce genre d'escalier peut être exécuté des trois manières différentes indiquées pour les deux précédens; savoir, à marches portant limon, à marches simples à recouvrement avec limons séparés, et à marches profilées par le bout, sans limon. Le moyen qui nous paraît préférable est celui à marches portant limon, indiqué dans la Planche LVIII, par les Figures 2, 3, 6 et 8.

Nous avons supposé, dans la Figure 2, que cet escalier ne commence à se soutenir de lui-même, qu'après une demi-révolution, ce qui permet de passer dessous; jusqu'à cette hauteur, les marches sont soutenues d'un côté par le mur, et de l'autre par un échiffre ou noyau évidé. Lorsqu'on dégage les marches plus bas, il en résulte un mauvais effet, et l'ouvrage en est aussi moins solide.

La Figure 6 fait voir la forme d'une marche vue par-dessus, avec sa coupe de derrière, et la partie de limon qu'elle porte en avant.

La Fig. 8 représente la même marche vue en dessous, avec l'entaille qui forme recouvrement et coupe, la projection du profil de la marche, et la partie formant limon.

Une partie de la Fig. 4 indique la manière dont les marches se recouvrent du côté du mur. Les trois marches profilées par le bout font

voir comment elles s'ajusteraient dans le cas où une partie se trouverait isolée et sans limon.

Enfin, la Fig. 5 indique l'effet que produiraient les marches profilées, sans limon, du côté du vide formant vis à jour.

Il est essentiel d'observer que ce dernier moyen ne peut avoir lieu sans danger, non pour la solidité, mais pour l'usage, que lorsque le vide de l'escalier est assez grand pour que la largeur des marches vers le bout de l'escalier, puisse avoir plus de 6 pouces ou 16 centimètres.

Lorsque le vide a moins d'un pied ou 32 centimètres, on taille le limon en forme de cordon ou main courante, qui tient lieu de rampe, comme aux escaliers pratiqués dans les massifs de la tour du dôme de la nouvelle église de Sainte-Geneviève, pour monter dans les vides entre les coupoles.

La Fig. 7 représente deux marches réunies et portant limon, pour faire voir la manière dont elles se posent l'une sur l'autre.

Dans la projection en plan de cet escalier, exprimée par la Fig. 1, la partie de limon teintée de hachures, indique celle qui porte de fond, celle ensuite qui n'est que ponctuée, est une partie où le limon se soutient en l'air; l'autre ensuite est la projection des marches sans limon.

LIVRE QUATRIÈME.

MAÇONNERIE.

On entend, par maçonnerie, une construction en moellons, en briques, ou en débris de ces mêmes matières, unis ensemble, pour former un corps solide par le moyen du mortier ou du plâtre, ou de tout autre agent susceptible de produire le même effet. L'art de la maçonnerie est très-ancien, puisqu'on trouve dans l'intérieur des pyramides d'Égypte des remplissages maçonnés en mortier de chaux et sable.

Les Grecs attribuaient l'invention de cet art aux Tyrrhéniens, dont il a déjà été question à l'occasion du mortier, Livre Ier., Ire. Section, pages 139 et 140. Le goût que ce peuple avait pour les arts en général, lui fit donner le nom de *Philotechnites*.

PREMIÈRE SECTION.

ÉTABLISSEMENT DES AIRES.

On désigne en général, sous le nom d'aires, toutes superficies planes, dressées ou nivelées pour servir à différens usages. En architecture, ce terme s'applique plus particulièrement à tout sol, plancher ou terrasse, formés ou consolidés par des ouvrages en pierre, en maçonnerie, ou par un enduit quelconque.

Les premiers ouvrages de ce genre, et les plus considérables à certains égards, sont, sans contredit, ceux qu'exécutèrent les anciens peuples de l'Égypte, tant pour effectuer le transport des masses énormes qui entraient dans la composition de leurs édifices, que pour l'établissement des voies sacrées, ou *dromos*, qui précédaient au loin l'entrée de leurs temples.

De tous les travaux de l'art de bâtir, exécutés en Egypte, les chaussées en pierre semblaient, par leur nature, devoir être les plus durables; d'un autre côté, l'extrême simplicité de leur disposition les rendait très-faciles à décrire, et si l'on retrouve la plus grande conformité entre les récits qu'en ont faits les historiens, et les traces de ces ouvrages encore apparentes à la surface du sol, on peut en inférer, avec quelque

fondement, l'existence de ceux qu'on ne connaît que par leurs écrits, et que les sables amoncelés dérobent sans doute aujourd'hui à notre vue.

Parmi les chaussées destinées à faciliter le transport des matériaux, la plus considérable devait être celle que l'on construisit pour conduire les pierres dont se compose la grande pyramide, et dont l'établissement, au rapport d'Hérodote, n'exigea pas moins de dix années de travail. « Cette chaussée, ajoute-t-il, est un ouvrage qui n'est pas » moins considérable, à mon avis, que la pyramide même ; car elle a » cinq stades de long [1], sur dix orgyes de large [2], et huit orgyes dans » sa plus grande hauteur [3]. Elle est en pierres polies, avec des figures » de chaque côté. »

Strabon en décrivant les *dromos*, dans l'ensemble des parties dont se composent les temples, ou *hiérons*, de l'Égypte, s'exprime de manière à donner de ces avenues une idée de grandeur et de magnificence non moins surprenante : « Dans l'avenue du *Téménos* (enceinte sacrée) on » remarque dit-il, un sol pavé dont la largeur est d'un demi-plèthre [4], » ou un peu moins, et la longueur triple et quadruple, et même plus » considérable dans quelques hiérons. On l'appelle le *dromos* (la carrière), » comme dans ce mot de Callimaque : *Voilà le dromos sacré d'Anubis.*

» Dans toute la longueur s'élèvent des sphinx de pierre distans les » uns des autres de 20 coudées ou un peu plus [5], et se correspondant » symétriquement dans toute la largeur, en sorte qu'à droite il existe » une rangée de sphinx, et une autre à gauche [6]. »

On voit encore aujourd'hui, dans la plaine de Thèbes, les restes plus ou moins bien conservés de cinq dromos, où l'on retrouve à la fois les points de ressemblance et les variétés de mesure que Strabon avait signalés dans ces sortes de constructions. Le plus considérable est celui qui se dirige, de l'est à l'ouest, de Karnak à Louqsor; sa longueur est de 2,300 mètres (environ 1,200 toises, ou une demi-lieue), et sa largeur de 20 mètres. On compte 600 sphinx de chaque côté de cette avenue.

[1] 476 toises, ou 930 mètres.
[2] 57 pieds 3 pouces, ou 18 mètres 6 décimètres.
[3] 45 pieds 10 pouces, ou 14 mètres 88 centimètres.
[4] 47 pieds 8 pouces, ou 15 mètres 50 centimètres.
[5] 28 pieds 7 pouces, ou 9 mètres 30 centimètres.
[6] Géographie de Strabon, Livre XVII ; traduction de J.-B. Gail. Voir ses recherches sur les Hiérons de l'Égypte, etc. — Paris, 1823.

Les dromos étaient aussi quelquefois bordés d'arbres dans leur longueur : tel était celui que l'on voyait au devant du temple de Mercure, à Bubastes, selon le rapport d'Hérodote, et dont la longueur, d'après le même historien, était de trois stades [1], et la largeur de quatre plèthres [2].

Au reste, il ne paraît pas que les Égyptiens aient jamais pensé à étendre l'application des avenues pavées à un système général de communication. En effet, le cours du Nil en établissait une toute naturelle, entre les provinces situées sur ses bords; et de nombreux canaux pratiqués avec autant d'art que d'intelligence, répandaient ensuite au sein des villes les produits du commerce et de l'industrie [3].

D'après un passage d'Isidore de Séville [4], cité par M. Girard, ingénieur en chef des ponts et chaussées, dans l'introduction qui précède la traduction qu'il a donnée des Mémoires sur les grandes routes, etc., de Gerstner [5], c'est aux Carthaginois qu'il faudrait reporter l'invention des chemins pavés. « Ainsi, ajoute ce savant académicien, ce peuple, » dont les vaisseaux parcouraient toutes les mers connues des anciens, » voulut encore étendre ses relations commerciales, en rendant plus » faciles à pratiquer les communications qu'il avait ouvertes avec le » littoral et l'intérieur de l'Afrique [6].

» Ce fut, selon toute apparence, apres avoir eu connaissance des » chemins pavés par les Carthaginois, que les Romains songèrent à » paver aussi leurs grandes routes. La voie Appienne, la plus ancienne » de toutes, ne fut exécutée, en effet, que vers l'année 442 de la fon- » dation de Rome. Plus tard, ils en entreprirent d'autres à travers les » différentes contrées de l'Italie; enfin, par la construction de leurs » voies militaires, ils purent assurer et rendre plus rapides les mouve- » mens de leurs légions dans les diverses parties de l'ancien continent, » qu'ils avaient réduites en provinces. »

[1] 286 toises, ou 558 mètres.

[2] 63 toises 3 pieds 8 pouces, ou 124 mètres.

[3] Hérodote dit, en parlant de Sésostris, livre 1er., 2e. section : Il fit faire des canaux de communication depuis Memphis jusqu'à la mer d'Arabie, pour faciliter le commerce de tous les peuples de la terre avec l'Égypte, et pour abréger le transport des fruits et de toutes les marchandises.

[4] Isidori Hispalensis episcopi Originum lib. XV, cap. 16.

[5] Mémoire sur les grandes routes, les chemins de fer et les canaux de navigation, traduit de l'allemand de F. de Gerstner, par Girard, membre de l'Institut. Paris, Bachelier, 1827.

[6] Le passage ouvert dans les Alpes, par l'armée d'Annibal, vers l'an 518 de la fondation de Rome, peut donner une idée du point où cette nation était parvenue dans l'art de diriger les chemins dans les lieux inaccessibles. (*Voyez ci-après, page* 234.)

CHAPITRE PREMIER.

LES VOIES PUBLIQUES ET GRANDS CHEMINS.

ARTICLE PREMIER. — DES CHEMINS ANTIQUES.

Relativement à l'art de bâtir, les chemins peuvent être considérés comme des aires de différentes largeurs et d'une longueur indéfinie, consolidées de manière à former une superficie solide et durable, afin de faciliter les transports et la communication dans toutes les parties d'un pays.

L'utilité des chemins ne saurait être contestée. On peut dire même que plus un état est grand, plus il est nécessaire qu'il soit traversé par de bonnes routes. C'est un des moyens dont les anciens Romains se sont servis pour agrandir et maintenir leur empire.

L'étendue immense des grands chemins construits par les Romains [1], leur durée, leur solidité, les obstacles qu'ils ont surmontés, ont excité de tout temps l'étonnement et l'admiration universelle. Nicolas Bergier, dans son *Histoire des grands chemins de l'empire romain*, attribue leur cause finale à quatre motifs principaux.

[1] Il sortait de Rome vingt-neuf grandes voies militaires, dont quelques-unes s'étendaient jusqu'aux extrémités de l'empire. Ces chemins étaient bordés, jusqu'à la distance de cinquante milles romains, de temples, de palais, de bains, d'hippodromes, de tombeaux et autres superbes édifices. On trouvait encore, le long des grands chemins militaires, des bâtimens construits aux frais du public, désignés sous les noms de *mutationes* et *mansiones*, que l'on peut traduire par maisons de postes et de logemens.

Les postes, ou *mutationes*, étaient éloignées les unes des autres de douze à quinze milles (18 à 22 kilomètres, ou 4 à 5 lieues de 25 au degré). On y trouvait des chevaux pour les relais des courriers de l'état, des mulets, des ânes, des bœufs et des chariots pour le transport des bagages des armées. Ces maisons étaient ordinairement placées dans les villages et les bourgs non fermés, afin que, de nuit comme de jour, le service pût se faire avec plus de facilité et de promptitude.

Les édifices appelés *mansiones* servaient pour le logement des troupes; leur éloignement était de trente à trente-six milles (45 à 54 kilomètres, ou dix à douze lieues.)

Nicolas Bergier n'a pas donné une idée juste de l'étendue des grands chemins de l'empire romain, en ne comptant que deux milles pour une lieue de France. Il fait le mille trop grand en n'en comptant que 62 mille $\frac{1}{3}$ pour un degré de grand cercle terrestre, tandis qu'il en faut 75; et de plus, la quantité de milles qu'il donne à plusieurs parties de chemins antiques n'est pas exacte. J'ai pensé qu'il était utile de corriger ces erreurs qui ne diminuent rien du mérite de l'ouvrage, puisqu'elles dépendent de l'état où étaient parvenues les connaissances géographiques dans son temps. La rectification de ces

Le premier était d'occuper les troupes en temps de paix et les citoyens oisifs de chaque province, afin d'éviter les tumultes, les séditions et autres mouvemens que l'inaction et la misère ne manquent pas de produire : le second était pour la célérité de la correspondance entre la capitale et toutes les parties de ce vaste empire : le troisième était de faciliter les expéditions militaires et le transport des bagages des armées, pendant toutes les saisons de l'année et dans toutes les provinces; enfin, le quatrième motif était la commodité des voyageurs et l'utilité du commerce.

Importance, chez les Romains, du titre de directeur des grands chemins; organisation spéciale de ces travaux; ressources affectées à ce service; honneurs décernés aux fondateurs et restaurateurs de voies publiques.

Chez les Romains, la surveillance des travaux publics, et surtout des grands chemins, était un emploi fort estimé et sollicité par les premiers magistrats de la république. Jules César ayant été nommé *curator viarum*, c'est-à-dire directeur des grands chemins, fit continuer la voie Appia. En outre des deniers publics affectés à cette entreprise, il y employa une très-grande somme de son argent, et ce fut une des opérations qui servit le mieux à établir son crédit dans l'esprit du peuple, dont elle augmentait à la fois la puissance et la gloire.

erreurs est due aux progrès qu'a faits cette science depuis l'époque où il vivait, et surtout aux recherches savantes de M. Danville, qui avait acquis, par plus de soixante ans de travaux, des connaissances très-étendues sur la géographie ancienne et moderne, et sur les mesures qui y ont rapport.

D'après la carte de l'empire romain dressée par ce dernier, qui est jusqu'à présent la plus exacte, sa longueur véritable, mesurée d'occident en orient sur le parallèle qui passe par le 40e. degré de latitude, est de deux mille neuf cent cinquante-deux milles romains, ou 984 lieues de 25 au degré; et, selon Bergier, cette longueur aurait été de 3,751 milles romains, qu'il évalue à 1,875 lieues $\frac{1}{2}$.

Sa largeur prise sur le méridien qui passe par la ville de Rome était de 1,375 milles, ou 458 lieues; et Bergier trouvait cette largeur de 2,000 milles, répondant à 1,000 lieues.

Ce vaste empire était divisé en onze grandes régions, savoir : l'Italie, l'Espagne, les Gaules, les Iles Britanniques, l'Illyrie, la Thrace, l'Asie-Mineure, le Pont, l'Orient, l'Égypte et l'Afrique. Ces régions étaient subdivisées en 113 provinces, traversées par 372 grands chemins, formant ensemble, d'après l'Itinéraire d'Antonin, une longueur de 52,964 milles romains, ou 17,654 lieues de 25 au degré; ou en mesures métriques, 7,846 myriamètres.

D'après le dépouillement des principaux résultats de la *Statistique des routes royales de France*, publiée en 1824, par M. le directeur général des ponts et et chaussées, la France est traversée par 598 grandes routes, produisant ensemble un développement de 23 077 kilomètres, ou 8,000 lieues.

Auguste César se voyant paisible possesseur de l'empire, avec vingt-cinq légions que l'oisiveté pouvait corrompre, les employa à réparer les grands chemins déjà faits, et à en construire de nouveaux. Dans la suite, cet empereur fit fondre des statues d'argent qui lui avaient été décernées par ses amis, par les particuliers et les peuples de l'empire, à l'occasion de ses triomphes, dont il employa la valeur à la construction des chemins publics; de plus, il distribua des grands chemins à réparer à ceux qui avaient obtenu les honneurs du triomphe, afin qu'une partie des dépouilles des ennemis qu'ils avaient vaincus fût consacrée à ces importans ouvrages.

On trouve à Nîmes une inscription qui prouve que Tibère fit réparer, à ses frais, les chemins des Gaules et de l'Espagne.

Domitien fit construire un superbe chemin qui conduisait de Sinuesse à Pouzzol, dans une étendue de vingt-six milles romains ou neuf lieues, dont le pavé était formé en grandes pierres carrées et en marbre.

L'empereur Trajan fit réparer et améliorer partout les grands chemins, en les redressant et supprimant les trop grands détours qui s'y trouvaient; en relevant les parties trop basses, et abaissant celles qui étaient trop élevées. Il fit construire beaucoup de ponts, et faire un chemin qui traversait le lac Pontia. La chaussée, qui avait plus de seize milles romains de longueur (environ 5 lieues $\frac{1}{2}$), était soutenue par un grand nombre d'arches.

Les empereurs Adrien, Antonin et Marc-Aurèle, ont aussi fait travailler beaucoup aux chemins. Septime Sévère et ses fils firent faire à leurs frais un chemin pavé en grandes pierres auprès de Rome, et réparer les chemins d'Espagne. Caracalla et Héliogabale continuèrent plusieurs grands chemins dans l'intérieur de l'Allemagne.

Les grands chemins et voies militaires des Romains furent constamment entretenues avec une vigilance extrême, jusqu'au règne de Théodose le Grand, époque à laquelle cet empire devint la proie de princes ignorans et barbares, plus curieux de se partager ses richesses que de veiller à la conservation des routes, qui seules pouvaient en perpétuer la source dans les provinces nouvellement soumises à leur domination.

L'organisation de cette branche des travaux publics date du moment où Auguste se mit à la tête de la direction des grands chemins. Ce fut lui qui institua des préteurs pour veiller, sous les ordres de l'empereur, à l'entretien des routes dans tout l'empire. Ces préteurs avaient d'autres offi-

ciers sous eux pour la direction et la surveillance immédiate des travaux. On peut diviser ceux qui travaillaient aux grands chemins en quatre classes : la première était composée de soldats légionnaires, la seconde d'ouvriers, la troisième des habitans des pays par où ils passaient, et la quatrième était composée d'esclaves et de criminels.

Les travailleurs et les gens du pays étaient commandés par les officiers des légions, et les ouvriers par des architectes et des inspecteurs. Ils étaient non-seulement chargés du pavé, des massifs, revêtemens, substructions, voûtes et ponts, mais encore de la construction des bâtimens appelés *mutationes* ou relais, et de ceux qui servaient au logement des troupes, désignés sous le nom de *mansiones*.

La quatrième classe, composée d'esclaves et de criminels, était assujettie à un travail double; ces criminels, marqués au front, étaient employés aux travaux les plus pénibles et les plus périlleux.

Les dépenses des grands chemins se payaient ~~par les questeurs~~, d'après les mandats et ordonnances ~~des préteurs~~. Une partie de l'argent se tirait du trésor public, et l'autre était fournie par les empereurs et les particuliers.

Les contributions des particuliers pour la réparation des grands chemins étaient de trois espèces : 1°. celles qui étaient levées par ordre des empereurs; 2°. celles ordonnées par les lois, 3°. celles qui étaient fournies volontairement. Personne n'était exempt de contribuer à cette dépense. On distinguait les contributions légales en deux classes, les unes viles et les autres honorables.

Les contributions viles consistaient dans le travail personnel, qu'on exigeait des paysans et des fermiers : d'abord ceux des sénateurs furent exceptés, mais dans la suite les empereurs Honorius et Arcadius, considérant l'immensité des grands chemins et les dépenses qu'exigeait leur entretien, abolirent toutes sortes d'exemptions, et soumirent les biens et possessions des personnes les plus illustres, et même les leurs, à la contribution des grands chemins.

Les contributions honorables se levaient en argent. Plusieurs citoyens riches et affectionnés au bien public ne se contentaient pas de satisfaire aux contributions auxquelles ils étaient tenus par la loi, ils consacraient de plus une grande partie de leur fortune à ces sortes d'ouvrages. Les *curateurs* des grands chemins ont souvent fait faire ou réparer de très-grandes parties de chemins à leurs frais, ainsi que le

prouve un grand nombre d'inscriptions antiques. Les communautés et les magistrats des villes ont fréquemment imité cet exemple. On a vu quelquefois plusieurs particuliers riches se réunir pour faire des parties de chemins qu'ils construisaient eux-mêmes, ou pour la construction desquelles ils donnaient de grandes sommes.

D'autres faisaient, en mourant, des legs considérables pour être employés à ces travaux, qu'on regardait comme des ouvrages nobles, auxquels les empereurs se faisaient une gloire de contribuer.

En général, les anciens Romains avaient la plus grande estime pour tous ceux qui contribuaient de leurs deniers à la construction ou à la réparation de chemins publics : ils consacraient leur mémoire par des inscriptions, des médailles; ils leur élevaient des statues et même des arcs de triomphe.

Des différentes espèces de chemins en usage chez les anciens Romains.

Les Romains distinguaient les différentes espèces de chemins par les mots *via*, *actus*, *iter*, *semita*, *trames*, *diverticulum*, *divortium*, *callis*.

Via répond à notre mot chemin; sa largeur était de 8 pieds romains, afin que deux voitures, allant en sens contraire, pussent passer sans se heurter; sur quoi il faut observer que les voitures des anciens Romains n'avaient pas plus de 3 pieds de voie. Cette largeur de 8 pieds romains, prescrite par les lois des douze tables, ne fait que 7 pieds 4 pouces du pied de Paris, ou 2 mètres 384 millimètres[1].

Actus était un chemin fait pour le passage d'une seule voiture, sa largeur était de 4 pieds romains. Ce nom lui venait d'une mesure de superficie qui servait à l'arpentage des terres, et dont la largeur était de 4 pieds, et la longueur de 120.

Iter était un chemin pour les gens de pied et les cavaliers, sa largeur n'était que de 3 pieds. Celui appelé *Semita* ou sentier, n'avait que la moitié de la largeur de l'*iter*. Lorsqu'il traversait les champs, on lui donnait les noms de *trames*, *diverticulum*, *divortium*.

Callis était un chemin pratiqué dans les montagnes, pour mener paître les troupeaux.

Les chemins dont nous venons de parler étaient des chemins particu-

[1] Ayant eu occasion de mesurer les traces des roues creusées dans le pavé de plusieurs restes de voies antiques, et surtout à Pompéïa, j'ai reconnu qu'il n'y avait pas plus de 3 pieds d'intervalle entre elles.

liers. Quant aux grands chemins qui traversaient toutes les provinces de l'empire, on les désignait généralement sous les noms de voies militaires, consulaires ou prétoriennes, et quelquefois par les noms mêmes des consuls et des empereurs qui les avaient fait faire; telles que les voies *Appia*, *Flaminia*, *Domitia*. Ils prenaient encore les noms des provinces, comme les voies *Latina*, *Tiburtina*, *Campania*, *Prænestina*.

Les grandes voies militaires étaient ordinairement divisées en trois parties distinctes. Celle du milieu, désignée sous le nom d'*Agger* ou chaussée, était la plus élevée; elle était bombée sur la largeur, et pavée quelquefois en grandes pierres de toutes sortes de formes, telle que la fameuse voie Appia, qui passait pour la plus belle et la plus solide des voies romaines.

Il résulte de plusieurs vestiges de voies antiques que j'ai mesurés dans les environs de Rome, telles que des voies *Appia*, *Latina*, *Labicana*, *Tiburtina* et *Prænestina*, que la largeur de la partie pavée devait être de 16 pieds romains (14 pieds 8 pouces du pied de Paris, ou 4 mètres 768 millimètres). Cette partie était séparée des deux autres, appelées *Margines*, par des rebords ou banquettes en pierre de 2 pieds romains de largeur, sur 1 pied $\frac{1}{2}$ de hauteur (22 pouces du pied de Paris; sur 16 pouces $\frac{1}{2}$ ou 596 millimètres sur 446 millimètres), qui servaient de siéges aux voyageurs, et de retraite aux gens de pied pour marcher dans les temps de pluie, ou lorsque la chaussée et les marges étaient trop embarrassées de voitures et de troupes. La partie du milieu était spécialement destinée pour l'infanterie, et les marges pour les chevaux et les voitures. La largeur de chaque marge était ordinairement la moitié de celle de la chaussée du milieu, en sorte que la largeur entière des plus grandes voies militaires n'était que de 36 à 40 pieds romains (30 à 36 pieds 8 pouces de Paris, ou 10 mètres $\frac{3}{4}$ à 12 mètres).

Des matières dont les Romains formaient leurs chemins, de leur construction, et des travaux extraordinaires pour les établir en divers lieux.

Les Romains employaient pour la construction de leurs chemins, les pierres dures, les laves, les grès, les cailloux, la chaux, le sable, le gravier, la marne, la craie et la terre franche. Le terrain sur lequel devait passer le chemin fournissait quelquefois les matériaux nécessaires à sa construction; alors ils se contentaient de creuser à droite et à gauche pour les extraire. Dans d'autres chemins on est étonné de ne rencon-

trer dans le pays aucune des matières dont ils sont composés, ce qui fait présumer qu'elles y avaient été apportées de fort loin, ou que pour les trouver on avait dû faire des fouilles très-profondes.

Pour établir leurs chemins d'une manière solide et durable leur premier soin, après en avoir tracé la direction, était de niveler et de dresser le sol en raison de la situation du pays qu'ils devaient traverser; ensuite ils le battaient fortement avec des masses de bois ferrées faites exprès, pour lui procurer une fermeté uniforme. C'est sur ce sol, bien nivelé et bien battu, qu'on étendait les différentes couches qui devaient composer l'aire ou massif du chemin, ~~comme on le voit dans la Fig. 1 de la Planche LIX~~. Ces couches étaient désignées, comme celles des aires, par les mots de *statumen*, *rudus*, *nucleus*, et *summa crusta*, ou *summum dorsum*; c'est-à-dire, massif, blocage, noyau et surface ferrée ou couverture. Ces quatre couches formaient ensemble une épaisseur de 3 pieds, ~~ou 1 mètre~~.

Dans les grandes voies militaires, la première couche ou *statumen*, était formée par un ou deux rangs de pierres plates posées à bain de mortier. La seconde couche ou *rudus*, était formée d'une maçonnerie de blocage bien battue : c'est sur cette couche bien dressée qu'on étendait la troisième appelée *nucleus*, qui était une espèce de béton composé de gravier broyé avec de la chaux nouvellement éteinte. Le pavé ou *summum dorsum*, était posé sur cette dernière, dans laquelle on l'enfonçait en le battant.

Dans plusieurs voies antiques, comme les voies Appia, Prænestina, Tiburtina, Valeria, le pavé est formé par de grandes pierres ou laves bleuâtres, taillées en polygones irréguliers de cinq, six ou sept côtés, dont quelques-unes ont 3 pieds $\frac{1}{2}$ de diamètre, parfaitement bien jointes [1] : telle était la construction de la partie des grands chemins pavée en grandes pierres.

Dans quelques chemins antiques on ne trouve pas la couche appelée *nucleus*; les grandes pierres qui forment le pavé sont immédiatement posées sur celle appelée *rudus*.

Les chemins, dont la superficie n'était pas pavée en grandes pierres,

[1] L'appareil par polygones irréguliers, employé pour le pavage de la voie publique, a cela de défectueux, qu'il produit souvent des angles aigus très-fragiles et qui se ruinent promptement. A Pompéia, les trous qui résultent de ces dégradations ont été remplis avec des coins de fer, des morceaux de granite, et d'autres matières.

étaient terminés par une couche de béton composée, comme il a été dit, de gravier broyé avec de la chaux. On réservait les cailloux les plus gros qu'on enfonçait ensuite dans ce béton pour former la surface supérieure appelée *summa crusta*.

C'était probablement de cette manière que les deux autres parties des grands chemins, désignées sous le nom de *margines*, étaient construites; peut-être était-ce le dessus de cette couche qui formait leur superficie, ainsi qu'on le voit par la Fig. 1, de la Planche LIX, dans laquelle les chiffres 1 et 2 indiquent deux manières de faire la première couche appelée *statumen*; 3, celle appelée *rudus*; 4, celle nommée *nucleus*, qui forme la superficie supérieure des parties de chemins, désignées sous le nom de *margines*; 5, l'épaisseur du pavé du milieu, disposé comme celui de la voie Appia.

Le savant Bergier, qui a rassemblé dans son ouvrage sur les grands chemins de l'empire romain, tout ce que les anciens auteurs ont écrit sur cet objet, ayant appris qu'il existait à Reims et dans les environs, des restes de voies antiques, curieux de connaître leur construction intérieure, il fit faire des fouilles pour découvrir trois de ces chemins. La première eut lieu dans le couvent des Capucins de Reims, sur une partie de marais près la rivière de Vesle : à 9 pieds de profondeur il trouva le sol sur lequel le chemin avait été établi. Après avoir nivelé et battu ce sol, on avait étendu dessus, dans l'espace qu'il devait occuper, une couche de mortier de chaux et sable blanc d'environ 1 pouce d'épaisseur : sur ce lit de mortier était un massif d'environ 10 pouces d'épaisseur, formé de pierres larges et plates liées avec un mortier fort dur. Au-dessus de ce massif ou *statumen*, était une maçonnerie en blocages de 8 pouces d'épaisseur, qui répondait à la couche que nous avons ci-devant désignée sous le nom de *rudus*, composée de petites pierres irrégulières de toutes sortes de formes, et de deux ou trois pouces de grosseur : les pierres rondes qui s'y trouvaient étaient plus tendres que les cailloux ordinaires, et ne faisaient pas de feu avec l'acier; cette couche était si dure et si bien liée, qu'un ouvrier ne pouvait en détacher en une heure qu'autant qu'il pouvait en porter.

La troisième couche, représentant celle appelée *nucleus*, avait environ 1 pied d'épaisseur; elle était formée d'une espèce de marne crayeuse battue. La dernière couche, formant la superficie du chemin ou *summa crusta*, était composée d'une couche de béton de 6 pouces d'épais-

seur. Ainsi le massif formé par ces quatre couches avait 3 pieds d'épaisseur.

La seconde fouille fut faite à une demi-lieue de Reims, sur un ancien chemin qui conduisait à Châlons, et formait une chaussée élevée de 4 à 5 pieds au-dessus du sol du terrain : il trouva qu'il était composé du même nombre de couches que le précédent, et construit de même.

La troisième fouille eut lieu à 3 lieues de la même ville, sur un ancien chemin qui conduisait à Mouzon. Le massif, ou *statumen*, était formé de deux assises de pierres plates, ~~ainsi que l'indique le numéro 1 de la Figure 1~~, dont la première, de 10 pouces de hauteur, était maçonnée à bain de mortier, et la seconde, qui avait 11 pouces, était composée de pierres posées à sec sans mortier. Cette dernière était couverte d'une couche de 4 à 5 pouces d'épaisseur d'une espèce de terre rousse battue. Sur cette couche en était une autre de 10 pouces d'épaisseur, en béton, composée de petits cailloux ronds et lisses, dont la grosseur variait depuis celle d'un noyau de cerise jusqu'à celle d'une noix. Cette espèce de gravier, broyé avec de la chaux et du sable, formait une masse fort dure et très-solide.

La dernière couche, à la superficie du chemin, était composée de cailloux plus gros, posés à bain de mortier. L'épaisseur de toutes les couches qui formaient ce chemin était de 3 pieds et demi [1].

La couleur bleuâtre ou gris foncé des granites et des laves, ainsi que des cailloux et autres matières employées dans le béton qui formait la superficie de plusieurs chemins antiques, leur a fait quelquefois donner le nom de chemins ferrés, qu'on a particulièrement appliqué depuis à tous ceux qui ne sont pas pavés, et seulement couverts de graviers ou de pierrailles.

Les Romains ont aussi fait des chemins où ils n'ont employé ni chaux, ni mortier, ni ciment; ils y substituaient l'argile, la marne, la craie ou la terre franche; mais ils ont observé dans leur construction les mêmes

[1] Je me souviens d'avoir vu, dans ma jeunesse, les débris d'un chemin antique à Lyon, en dehors de la porte de Saint-Clair. Il était formé d'une couche de béton d'environ un pied et demi d'épaisseur. Ces débris consistaient en de grandes masses de 12 à 15 pieds de longueur sur 4 à 5 de largeur, composées de cailloux ronds, dont le plus fort n'excédait pas la grosseur d'un œuf. Le mortier qui les unissait était devenu si dur, qu'il était impossible de les arracher, et les masses qu'ils formaient étaient plus difficiles à rompre que les pierres les plus fortes en usage dans cette ville.

couches que dans ceux en maçonnerie, qu'ils avaient soin de bien massiver pour leur donner une plus forte consistance.

En général, on peut dire que les anciens Romains ont épuisé, dans la construction de leurs chemins, toutes les ressources de l'art et de l'industrie; aucun obstacle n'a pu les arrêter : ils sont parvenus à les conduire à travers les marais, les étangs, les lacs, les rivières, les vallées les plus profondes, les montagnes les plus élevées et les rochers les plus escarpés. On admire en Italie, auprès d'Urbin, une partie de l'ancienne voie *Flaminienne*, soutenue sur des arcades, comme l'indique la Fig. 3, depuis l'église Sainte-Marie-du-Pont, jusqu'à un endroit appelé *Cagli*, autrefois *ad Calem*, sous lesquelles passe le fleuve *Metaurus*, aujourd'hui le *Metro*. Les murs de soutènement, qui sont en pierre de taille, ont une hauteur surprenante. Dans plusieurs endroits ils ont été obligés de creuser les chemins dans les rochers les plus durs, comme on le voit à Piperno et à Terracina, sur la route de Rome à Naples. La Fig. 2 représente cette disposition. Auprès de Sistéron, dans le département des Basses-Alpes, on voit un reste de chemin antique que *Posthamus Dardanus* fit couper dans le roc, sur lequel il fit graver une inscription qui a fait donner à ce lieu le nom de *Petra scripta*. Auguste fit ouvrir, de la même manière, plusieurs chemins dans les Alpes. Celui qui traversait le Mont-Cenis se dirigeait sur Lyon, d'où en partaient plusieurs autres qui conduisaient dans l'intérieur de la France. Cette route passait par Suze, sous un arc de triomphe voisin de cette ville. Il avait été élevé en l'honneur d'Auguste, par le roi Cotius, souverain d'une partie des Alpes environnantes. Il ne reste plus aujourd'hui de cette route que quelques vestiges et d'anciennes culées de ponts en maçonnerie qui en indiquent la trace [1].

Mais, long-temps avant cet empereur, les Carthaginois, sous la conduite d'Annibal, avaient su se frayer une route au milieu de ces ro-

[1] Depuis la destruction de ce chemin, la communication avec l'Italie par cette montagne, était extrêmement difficile, quelquefois même impraticable.

Il était réservé aux ingénieurs français de triompher de nouveau de tant d'obstacles et d'assurer par des travaux aussi bien entendus que solidement exécutés, tant sur cette voie que sur celle du Simplon, des débouchés prompts et faciles au commerce et à l'industrie de l'Italie et de la France. On a publié plusieurs Mémoires sur ces importans ouvrages : M. Courtin, secrétaire général des ponts et chaussées, est le premier qui en ait rendu un compte détaillé dans son Tableau des constructions exécutées depuis 1800. Paris, Gœury, 1812.

chers inaccessibles. Le passage des Alpes a toujours été regardé, avec raison, comme un des faits les plus glorieux de ce vaillant capitaine, et la promptitude avec laquelle il l'effectua, au dire des historiens, ne cause pas moins d'étonnement que la puissance des moyens qu'il mit en œuvre pour triompher des principaux obstacles. Voici ce que Tite-Live rapporte à ce sujet, au XXIe. Livre de son Histoire Romaine :

« On résolut enfin de diriger des soldats vers le seul point où le passage pouvait être ouvert, en se faisant jour à travers les rochers qui » en fermaient l'issue : pour parvenir à les trancher, on forma, sur l'endroit même qu'il fallait aplanir, un immense bûcher de tous les arbres que l'on put abattre dans les environs ; à peine y eut-on mis le » feu, qu'un vent impétueux, développant tout à coup les progrès de » l'incendie, l'embrasement devint général en un instant; lorsque la » masse fut entièrement pénétrée par la violence des flammes, on la fit » éclater de toutes parts en l'arrosant avec du vinaigre. Le roc ainsi divisé par le feu, on parvint, à l'aide du fer, à régulariser la pente, en » formant quelques détours, et à l'adoucir au point que non-seulement » les bêtes de somme, mais les éléphans même purent descendre avec » la plus grande facilité [1]. »

[1] Indè ad rupem minuendam, per quam unam via esse poterat, milites ducti, quùm cædendum esset saxum, arboribus circà immanibus dejectis detruncatisque, struem ingentem lignorum faciunt, eamque (quùm et vis venti apta faciendo igni coorta esset) succendunt, ardentiaque saxa infuso aceto putrefaciunt. Ita torridam incendio rupem ferro pandunt, molliuntque anfractibus modicis clivos, ut non jumenta solùm, sed elephanti etiam deduci possent.

La possibilité de cette opération qu'on avait regardée comme une exagération ou un conte populaire, se trouve justifiée par un fait que cite M. Gauthier, architecte-ingénieur des ponts et chaussées, auteur d'un ouvrage estimé sur la construction des chemins. Il rapporte dans cet ouvrage « qu'ayant été chargé par M. Arnou, intendant général de la » marine, de faire une écluse au bout de la vallée d'Aure, sous le village d'Égêt, près » du fond de la rivière, pour y faire passer des mâts, il fit d'abord usage des mines » pour couper les rochers, en les perçant avec des aiguilles et les chargeant de poudre, etc., ce qui produisait d'assez bons effets. Mais, ajoute-t-il, un paysan plus habile » que moi me dit que, si je voulais le laisser faire, il enlèverait tous les rochers que je » faisais miner, avec très-peu de dépense et avec trois fois plus de diligence. Ayant » accepté cet offre, ce paysan rassembla une douzaine de femmes auxquelles il fit faire » des fagots de bois et de broussailles ; il les fit ranger autour des rochers qu'on avait » commencé à miner, et y ayant fait mettre le feu, lorsque ces roches furent bien échauffées, il fit jeter de l'eau dessus, et elles se fendirent de toutes parts avec beaucoup de » bruit aux endroits où elles avaient été échauffées, et on les séparait aisément avec des

ARTICLE II. — DES CHEMINS MODERNES.

Des différentes espèces de chemins indépendamment de leur situation.

Les chemins peuvent être situés de quatre manières différentes en raison de la position des pays qu'ils traversent.

1°. Dans les pays plats ou qui offrent peu de sinuosités, la superficie peut être dressée et dirigée selon les lignes qui suivent les mouvemens du terrain à peu de distance du sol, c'est-à-dire, à un pied ou deux d'élévation, pour faciliter l'écoulement des eaux. Ceux dont nous allons détailler la construction sont supposés situés de cette manière.

2°. Dans les pays bas et marécageux leur établissement exige des préparations particulières, et une plus grande élévation au-dessus du sol.

3°. Dans les pays montueux où les routes ont besoin d'être alternativement creusées profondément dans le sol, ou soutenues à une grande élévation au-dessus des vallées, des précipices, des torrens ou des rivières, afin de maintenir leur niveau ou l'uniformité de leur pente.

4°. Lorsqu'ils sont situés à mi-côte sur le penchant des collines des montagnes et le long des rochers escarpés.

On peut ajouter à ces quatre positions les chemins percés au travers des montagnes, comme les voies souterraines de l'ancienne Thèbes d'Égypte et de Babylone; le percement que Vespasien fit faire sous l'Apennin, pour prolonger la voie flaminienne; le chemin qui allait de Baie à Cumes; celui qui existe encore pour communiquer de Naples à Pouzzol, creusé sous le mont Pausilipe, dont la longueur est de 363 toises ou 707 mèt. $\frac{1}{2}$ environ, sur 6 mèt. de largeur, et à peu près 16 de hauteur.

Les précautions à prendre pour établir les chemins, dépendent autant de la nature du sol que de leur situation. On parvient à consolider le sol lorsqu'il n'a pas une fermeté suffisante, en le battant, ou par

» pinces. » Ce moyen épargna beaucoup de peine, et l'ouvrage fut fait plus promptement. Il récompensa le paysan, et le chargea de continuer sa manœuvre. Mais il remarqua qu'il n'y avait qu'une sorte de pierre que le feu et l'eau faisaient ainsi éclater; il la designe sous le nom de pierre fondante; elle est beaucoup plus dure que les grès les plus compactes. L'application du feu et de l'eau ne fait aucun effet sur les rochers qu'il appelle ardoisés.

Il conclut de cette expérience que le vinaigre, qu'on dit qu'Annibal employa pour dissoudre les rochers des Alpes, après les avoir échauffés, pouvait être inutile, et que l'eau simple aurait pu produire le même effet sur cette espèce de roche, dont les sommets des Alpes et des Pyrénées sont ordinairement couverts.

d'autres moyens, tels que les pilotis, les plate-formes ou radiers de charpente, les encaissemens, les murs de revêtement, les substructions, les contreforts, les voûtes, les arches de ponts, et autres ouvrages dont il sera question dans le neuvième Livre.

Nous venons de voir combien les anciens Romains mettaient d'importance à la construction de leurs chemins, et qu'ils ne négligeaient rien pour les rendre fermes et solides. Ceux qui leur ont reproché de n'avoir pas assez de largeur, n'ont pas fait attention que leurs voitures avaient beaucoup moins de voie que les nôtres, ainsi que nous l'avons dit précédemment, et que les moyeux de leurs roues n'avaient presque pas de saillie. Deux de ces voitures pouvaient facilement passer, sans se heurter, dans un chemin de 8 pieds romains de largeur (7 pieds 4 pouces ou 2 mètres 38 centimètres), parce que la voie des roues n'avait que 3 pieds (89 centimètres), tandis que celle des nôtres a depuis 4 pieds jusqu'à 5 (13 jusqu'à 16 décimètres), indépendamment de la saillie des moyeux, qui dans les grosses voitures ont jusqu'à 1 pied (32 centimètres $\frac{1}{2}$), en sorte qu'il faut au moins 7 pieds $\frac{1}{2}$ (2 mètres 44 centimètres) pour le passage d'une seule voiture, c'est-à-dire, plus du double de ce qu'exigeaient celles des anciens. Ainsi les grandes voies militaires des Romains, qui avaient 36 à 40 pieds de largeur, étaient, relativement à leurs voitures, ce que sont nos plus grandes routes modernes, dont la largeur est de 60 à 72 pieds, puisqu'il pouvait y passer le même nombre de voitures [1].

Les grands chemins des anciens sont remarquables par la solidité de leur construction, et ceux des modernes par leur extrême largeur. Mais quand on compare la charge énorme de nos voitures, avec celle dont les leurs étaient susceptibles, on convient que nos grandes routes devraient plutôt surpasser leurs grands chemins en solidité qu'en largeur. Pour faire voir la nécessité de donner à toutes les parties de nos routes une fermeté uniforme, capable de résister dans tous les temps au rou-

[1] Nicolas Bergier s'est encore trompé lorsqu'il a dit, à la fin du troisième Livre de son Histoire des grands chemins de l'Empire romain, que les grandes voies militaires avaient 60 pieds de largeur. Son erreur vient peut-être de ce qu'ayant découvert, en Champagne, des débris de chemins antiques dont la superficie était formée par une couche de béton, il a imaginé que ces chemins, qui avaient environ 20 pieds de largeur, pouvaient être les marges de quelques grandes voies dont le milieu était pavé. Alors, supposant la partie pavée égale aux marges, il en serait résulté une largeur de 60 pieds; mais c'est une supposition qui n'est appuyée d'aucune preuve.

lage des voitures, il suffit de dire que la charge d'une voiture à deux roues va jusqu'à six milliers, et que celle des voitures à quatre roues est au moins de douze. Ainsi l'effort de chaque roue est d'environ trois milliers qui ne portent que sur une surface d'un demi-pied. Il n'est pas étonnant qu'un poids aussi considérable, agissant par secousses sur une si petite superficie, creuse, dans toute la longueur, des ornières dont la profondeur est proportionnée à la manière dont le chemin est fait, et aux matières dont il est formé.

Les choses étant dans cet état, l'art se trouve dans l'impossibilité d'établir des chemins capables de résister à un pareil service; car, indépendamment de la dépense des établissemens préparatoires auxquels il faudrait avoir recours, l'action destructive qu'exerce incessamment sur les routes le frottement de roulages aussi énormes, est maintenant hors de toute mesure avec la résistance des matières qu'on peut employer à leur confection. C'est pourquoi nous pensons avec tous ceux qui ont écrit sur ce sujet, que les efforts d'une administration vigilante, étant désormais impuissans contre de telles causes de dégradations, c'est de la sagesse du gouvernement qu'il faut attendre les mesures conservatrices réclamées depuis long-temps, par l'augmentation toujours croissante du dommage et des frais d'entretien qui en sont la suite.

Dans les chemins modernes, il n'y a de réellement solide que la partie pavée ou chaussée indiquée par A, Fig. 4, 5 et 6, surtout lorsqu'on peut se procurer, comme dans les environs de Paris, une matière aussi propre à cet usage que les grès durs qui se débitent facilement.

Les deux marges ou accottemens marqués B, Fig. 4 et 5, ne sont ordinairement formés que de terres rapportées provenant des fossés creusés le long des grands chemins, pour l'écoulement des eaux pluviales et pour les séparer des propriétés particulières. On a beau couvrir la superficie de ces terres de gravier ou de pierrailles, comme elles n'ont pas assez de fermeté, il s'y fait bientôt des ornières, et ces terres étant susceptibles de s'imbiber d'eau, quand elles en sont pénétrées, ces parties de chemin deviennent impraticables après les pluies, surtout en hiver, et fort incommodes en été à cause de la poussière.

Il vaudrait beaucoup mieux ne donner à ces marges ou accottemens que la moitié de la largeur de la partie pavée, ainsi que le pratiquaient les anciens, et les faire plus solides.

Il est certain que les grandes routes, bien faites et bien entretenues, n'auraient pas besoin d'avoir plus de largeur que les grandes rues de Paris; car il n'y a pas d'endroit où il se trouve un plus grand concours de voitures, de chevaux et de gens de pied. Les plus grandes et les plus passagères de ces rues n'ont cependant que 5 à 6 toises de largeur, tandis qu'il y a des routes qui ont jusqu'à 10 et 12 toises.

En réduisant la largeur des plus grandes routes à 6 toises ou 12 mètres, lorsqu'elles seraient divisées en trois parties sur la largeur, celle du milieu, qui devrait toujours être pavée, soit en grès, en pierres ou en cailloux, aurait 15 à 18 pieds de largeur (5 ou 6 mètres), et le surplus serait pour les marges ou accottemens.

Il est évident que le véritable moyen de parvenir à former des routes solides qui puissent résister au roulage des grosses voitures, doit être de leur donner un degré de fermeté suffisant.

Il est encore évident que le moyen le plus sûr de réussir, serait de former des massifs de maçonnerie, comme le pratiquaient les anciens Romains; mais les dépenses excessives qu'exigerait ce moyen, le rendent actuellement impraticable. Il faut donc se borner à le suppléer de la manière la plus avantageuse, par la combinaison et l'arrangement des matières qu'on peut avoir à sa disposition, pour former un massif ou aire qui ait une fermeté convenable.

Nous allons d'abord considérer la formation de ce massif, indépendamment de la nature du sol ou terrain sur lequel il doit être établi, que nous supposerons naturellement solide ou avoir été consolidé.

Les matières dont on peut faire les massifs des chemins, sont les terres, les marnes, les craies, l'argile, le sable, le gravier, les cailloux, les grès, les pierres dures ou tendres, les recoupes ou pierrailles et les décombres.

Ces différentes matières arrangées d'une manière convenable, peuvent former, sans le secours du mortier, une aire assez ferme pour résister au roulage, quoique moins solide et moins durable que le massif en maçonnerie.

La fermeté dans ces sortes d'ouvrages dépend du rapprochement des parties qui les composent, de leur dureté, de leur forme et de leur volume. Ainsi, des cubes de grès d'un certain volume peuvent former, indépendamment du mortier, une surface solide, en les posant sur une forme de sable étendue sur un fond bien consolidé, et en garnissant

bien les joints, ainsi que le prouve le pavé de Paris et des principales routes; mais comme l'expérience a fait connaître que cette solidité diminuait en raison du volume des pavés, on a fixé cette grandeur, pour les rues et les grandes routes, à 8 à 9 pouces ou 22 à 25 centim. sur tous sens. Les pavés se posent ordinairement par rangées transversales ou obliques, et en liaison sur la largeur du chemin. Disposé obliquement, le pavé ne présente aucuns joints en long, et les roues des voitures, quelqu'étroites qu'elles soient, ne pourront entrer dedans. Ainsi le bandage des roues ne pourra nullement *ébuer* le bord du pavé, ni le pavé *ébuer* le bandage. Au reste, il est à propos d'observer que ce dernier moyen, quoique plus durable, offre moins de sûreté aux pieds des chevaux.

Les pierres ou cailloux d'un volume médiocre ne sont pas assez contenus par le sable; quand on ne peut pas faire autrement, il faut préférer, dans leur arrangement, celui de l'*opus incertum*, même pour les cailloux, en imitant les maçonneries indiquées par les Fig. 2 et 3 de la Planche LXI.

Si l'on emploie des pierrailles ou du gravier, on n'obtiendra de suite une superficie ferme et praticable, qu'en les broyant avec de la chaux nouvellement éteinte pour faire une espèce de béton dont on étendra une couche d'environ 16 centimètres qu'on aura soin de bien massiver.

Lorsque les graviers ou pierrailles et cailloutis ne sont pas liés par un mortier ou ciment quelconque, ils forment, dans les premiers temps, un chemin pénible pour les chevaux, les voitures et les gens de pied. Cependant l'action réitérée du roulage finit par opérer à la longue une forte cohésion entre ces matières, à l'aide du broyement qu'elles éprouvent sous la charge, et de la pression qu'exercent les roues sur la masse entière. Alors ces routes acquièrent au plus haut degré les conditions essentielles de la viabilité, et un entretien soutenu peut prolonger indéfiniment leur durée. Cependant ces divers moyens ne sauraient jamais équivaloir à une chaussée pavée, surtout pour les routes exposées au passage continuel de voitures chargées au delà de 2,000 kil. par roue.

Relativement aux marges ou accotemens, il faudrait qu'ils fussent soutenus du côté des fossés par des murs en maçonnerie, ou plutôt en pierres sèches, pour donner issue aux eaux qui auraient pu les pénétrer, et rendre, par ce moyen, le dessus plus sec. Ces murs serviraient aussi à contenir les matières qui doivent composer le chemin.

Après avoir égalisé et consolidé le sol sur lequel un chemin doit

passer, on le formera de différentes couches. On choisira, pour la première, les pierres, cailloux ou pierrailles d'un plus gros volume qu'on arrangera de manière que cette couche soit d'égale épaisseur et bien garnie. Sur cette couche on étendra un lit de terre franche d'environ 4 à 5 pouces d'épaisseur (10 à 13 centimètres $\frac{1}{2}$), que l'on égalisera, et après l'avoir bien battue, on en formera une autre de pierres moins grosses, et ainsi de suite, en raison de l'épaisseur que l'on veut donner au chemin. Le nombre des couches ne doit pas être moindre de trois. Toutes ces couches, excepté la dernière, doivent s'étendre sur toute la largeur du chemin; et la dernière, qui se raccordera avec le pavé, sur les deux marges seulement. Cette dernière serait couverte de sable après avoir été battue.

Si, pour quelque raison particulière, on voulait faire un chemin aussi solide et aussi durable que ceux des anciens Romains, qui ne fût sujet ni à la boue ni à la poussière, après avoir fait la masse du chemin, comme on vient de le dire, on formerait la superficie des marges en béton, et celle du milieu en pavé.

La méthode de construire les chemins par couches alternatives de pierre et de terre est celle qui convient le mieux, lorsqu'on ne peut employer à leur formation ni pavé ni massif de maçonnerie. Ces chemins, bien faits, seraient fermes, durables et sujets à peu d'entretien. On pourrait, à cet effet, faire usage d'une espèce de chariot proposé dans un journal anglais. Il est composé de deux rouleaux creux, en fer fondu, fortifiés à l'intérieur par deux fortes planches de même métal, qui se croisent au centre à angles droits, où elles sont traversées par un axe ou essieu de fer ajusté dans un châssis qui forme le brancard du chariot. On peut mettre sur ce brancard telle charge que l'on veut. Pour diminuer le frottement, les bouts d'essieu tournent dans des crapaudines carrées. Ces rouleaux ont 2 pieds de diamètre et 2 pieds et $\frac{1}{2}$ de longueur. En les faisant rouler de temps en temps sur les chemins qui ne sont pas pavés, après la pluie, et surtout après le dégel, il les aplanit, les affermit, et détruit les ornières. Derrière chaque rouleau il y a un coutre-fixe dont l'usage est de détacher les pierres qui pourraient s'y attacher. Le corps du chariot n'étant élevé que de 2 pieds et $\frac{1}{2}$, est très-facile à charger. Il peut être traîné par des hommes ou des chevaux, selon la nécessité de le charger plus ou moins.

Si le chemin était trop maltraité, on ferait remplir les ornières de pierrailles recouvertes de sable.

De tous les ouvrages relatifs à l'établissement des routes, il n'a été question dans cet article que de ce qui concerne le chemin, proprement dit, ou la chaussée. Les constructions préparatoires que peut nécessiter leur conduite à travers les marais et les étangs, et dans les montagnes, au milieu des précipices, rentrent naturellement dans la classe des ouvrages de fondation dont il est traité à la IIe. Section du IXe. Livre.

NOTE

SUR LES DIFFÉRENTES ESPÈCES DE CHEMINS A ORNIÈRES [1].

Chemins a ornières étroites.

« On ne connaît que trois espèces différentes de chemins à ornières. La plus » ancienne manière de les faire, et la plus généralement en usage, consiste à » former avec des barreaux de bois ou de fer les lignes sur lesquelles portent » les roues des chariots. Ces roues sont bordées de chaque côté d'un renflement » formant une ornière dans laquelle s'emboîte le barreau, ce qui les maintient dans » la voie. On distingue maintenant ce genre de chemins par le nom de chemin à » ornières étroites, les barreaux de fer qui forment la voie étant étroits et fort » épais.

» Ces chemins ont d'abord été construits en bois, pour le transport des char- » bons, depuis les mines des environs de Newcastle, jusqu'à la rivière de Tyne. » Quelquefois on les recouvrait d'une bande de fer dans les parties où ils étaient » le plus exposés aux dégradations. En adoptant, depuis, le fer coulé à la place du » bois, on a, dans le même district, conservé le même genre de roues et la même » forme de construction pour les barres, avec la seule différence qu'a pu néces- » siter l'emploi d'une nouvelle matière.

. . . . . .

» Voici quelle est la construction des chemins de fer les mieux entendus, sur » les bords de la Tyne et de la Wear. Les chariots roulent sur le bord arrondi » de la barre, qui est aussi unie et aussi régulière qu'on a pu la couler. La

[1] N'ayant jamais été à même d'observer aucun ouvrage de ce genre, nous avons extrait les détails qu'on va lire, sur l'établissement des chemins en fer, du Traité spécial publié sur cet objet par M. Th. Tredgold, ingénieur anglais, d'après la traduction qu'en a faite M. Duverne, ancien officier de la marine royale, chevalier de l'ordre de Saint-Louis. — Paris, Bachelier, 1826.

L'exactitude et la réserve avec lesquelles l'auteur s'exprime sur les résultats obtenus jusqu'à ce jour, de ce moyen de communication, rendent cet écrit très-recommandable. On y trouve les détails les plus circonstanciés sur l'ensemble de ces entreprises, dont les autres branches tiennent plus à la mécanique qu'à l'art de bâtir.

» longueur ordinaire des barres est de 3 pieds anglais, un peu plus de 91 centimètres; l'épaisseur, au milieu, d'environ 114 millimètres, et la largeur du bord est de 50 centimètres; quelquefois les barres ont 4 pieds anglais, ou un peu plus de 12 décimètres de long. Les bouts des barres se réunissent dans une pièce de fer coulé, qu'on nomme le siége, laquelle est fixée dans des blocs de pierre dont la base est fort large, et qui pèsent depuis 75 jusqu'à 100 kilogrammes. Ces blocs sont solidement posés dans la terre, et convenablement disposés, suivant que le demande la forme de la route, avant qu'on place le siége de fonte. La bonté de la route dépend beaucoup de la solidité que l'on donne aux blocs de pierre.

. . . . . .

» Les chemins à ornières étroites conviennent particulièrement pour des travaux permanens. Leur construction ne permet pas aux voitures ordinaires d'y voyager, et sur tout chemin en fer où ces sortes de voitures peuvent être employées, elles font nécessairement plus de mal à la surface en fer sur laquelle elles se meuvent, qu'elles ne peuvent procurer d'avantages en compensation : il est très-vraisemblable que ces chemins peuvent être tenus en bon état plus facilement que les autres.

Chemins à ornières plates.

» La seconde espèce de chemins à ornières diffère de la première en ce que les rebords, au lieu d'être aux roues, sont placés aux côtés mêmes des barreaux ou des bandes de fer qui forment les lignes. Elle a l'avantage de pouvoir servir aux chariots qu'on emploie sur les routes ordinaires. Les chemins de cette nature sont dits à ornières plates, *tram-roads*. . . . . .

» Les bandes qui forment ces sortes d'ornières ont toujours été faites en fer coulé. Il est vrai qu'on a employé et qu'on emploie encore quelquefois des planches de bois pour un service analogue, mais on ne peut guère le considérer comme formant un chemin à ornières. Quoi qu'il en soit, les ornières plates sont on ne peut pas plus convenables pour un service temporaire et dans leur forme ordinaire; on s'en sert beaucoup dans les carrières des mines, pour la construction de nouvelles routes ou celles des canaux, pour le transport des pierres de taille, et mille autres objets.

» Les barres qui forment ordinairement ces sortes d'ornières, sont d'une forme très-faible relativement à la quantité de fer qui y entre; dans quelques endroits on a jugé nécessaire de les renforcer en ajoutant une bande au-dessous. C'est avec des ornières ainsi doublées que se font les réparations de la route à ornières plates du Surrey. Ce renfort les rend certainement plus propres à résister qu'aucune autre forme de construction que nous connaissions.

» Comme les ornières plates peuvent être employées avec le plus grand avan-
» tage à former des chemins pour un service temporaire, il est important de faire
» connaître le moyen le plus convenable et le plus expéditif de les établir sur le
» terrain. Celui dont on se sert le plus communément consiste à les fixer avec
» des clous ou des boulons, sur des traverses dormantes en bois. Le grand in-
» convénient de cette méthode c'est la difficulté d'enfoncer les clous et de les
» arracher quand on veut changer le chemin.

» Lorsque la route doit être permanente, on en fixe ordinairement les ornières
» avec de grands clous qui s'enfoncent dans des quartiers de bois qu'on a fait
» entrer auparavant dans les blocs de pierre destinés à porter les ornières.

Chemins en fer à une seule ornière.

» La troisième méthode consiste a ne faire qu'une seule ligne pour des voitures
» à deux roues. Les barres qui la forment sont élevées au-dessus de la surface du
» sol, et la voiture s'y trouve comme suspendue. Cette méthode est nouvelle, et
» on peut espérer qu'elle offrira beaucoup d'avantages.

» L'idée de ce chemin, inventé par M. Palmer, est neuve et ingénieuse La
» voiture est portée sur une ornière unique, ou plutôt sur une ligne de barres de
» fer, élevée de 91 centimètres au-dessus du niveau du sol, et appuyée sur des
» piliers placés à distances égales, et à 3 mètres environ l'un de l'autre. La voi-
» ture consiste en deux réceptacles, ou caisses suspendues, des deux côtés de la
» voie, à une forme en fer ayant deux roues d'environ 30 pouces de diamètre.
» Les bords des roues sont concaves et embrassent exactement le bord convexe
» des barres qui forment la voie; et le centre de gravité de la voiture, soit qu'elle
» soit vide ou pleine, se trouve placé si fort au-dessus du bord supérieur de la
» voie, que les deux caisses restent en équilibre, et que leur charge peut être
» fort inégale sans qu'il en résulte d'inconvénient, la largeur de la voie, qui
» leur sert comme de pivot, étant d'environ 100 millimètres. Les barres sont faites
» aussi de manière à pouvoir s'ajuster et être maintenues droites et unies.

» Les avantages de ce mode sont de rendre le frottement latéral moins consi-
» dérable que dans le système des ornières étroites; de défendre mieux le chemin
» contre la poussière ou toute autre matière qui peut tendre à retarder la marche
» des voitures; enfin, lorsque la surface du terrain fait beaucoup d'ondulations,
» de permettre d'exécuter le chemin sans être obligé de creuser pour le mettre
» de niveau, plus que cela n'est indispensable pour rendre praticable le sentier
» dans lequel marche le cheval qui traîne la voiture. »

Pour résumer le plus succinctement possible tous les avantages que peuvent présenter au commerce et à l'industrie l'établissement des chemins en fer, nous terminerons cet extrait par la Table dressée par l'auteur pour montrer l'effet

d'une force de traction de 50 kilogrammes, à différentes vitesses, sur un canal, un chemin en fer et une route ordinaire.

TABLE montrant l'effet d'une force de traction de 50 kilogrammes, à différentes vitesses, sur un canal, un chemin en fer et une route ordinaire.

VITESSE.		Charge mue par une force de traction de 50 kilogrammes.					
		Sur un canal.		Sur un chemin en fer de niveau.		Sur une route ordinaire de niveau.	
Kilomètres par heure.	Mètres par secondes.	Masse totale mue.	Effet utile.	Masse totale mue.	Effet utile	Masse tot. mue.	Effet utile.
		kilogrammes.	kilogrammes.				
4	1,11	27719	19678	7200	5400	900	675
4,8	1,33	19250	13790	7200	5400	900	675
5,6	1,55	14142	10039	7200	5400	900	675
6,4	1,78	10828	7687	7200	5400	900	675
8	2,22	6928	4920	7200	5400	900	675
9,6	2,66	4812	3414	7200	5400	900	675
11,2	3,11	3536	2508	7200	5400	900	675
12,8	3,55	2645	1917	7200	5400	900	675
14,4	4	2138	1514	7200	5400	900	675
16	4,44	1732	1225	7200	5400	900	675
17,6	4,88	949	675	7200	5400	900	675

« Cette Table fait voir quelle quantité d'effet peut être produite par une même » force de traction à différentes vitesses, sur un canal, une route ordinaire et » un chemin en fer. Les changemens de niveau, qui se font dans les canaux, » au moyen des écluses, peuvent être considérés comme équivalens aux montées » et aux descentes des chemins en fer et des grandes routes. La charge, ajoutée » au poids du bateau ou de la voiture qui la porte, forme la totalité de la masse » mise en mouvement : la charge seule constitue l'effet utile.

. . . . . .

» La force de traction, sur un canal, varie comme le carré de la vitesse; mais » la puissance mécanique, pour mettre le bateau en mouvement, augmente » comme le cube de la vitesse. Sur un chemin en fer et sur une route ordinaire, » la force de traction est constante, mais la puissance mécanique nécessaire pour » mettre la voiture en mouvement augmente dans le rapport de la vitesse. »

CHAPITRE DEUXIÈME.

DES AIRES ET PAVÉS INTÉRIEURS.

Chez les anciens, l'établissement des aires consistait en des massifs de maçonnerie, composés de plusieurs couches disposées à peu près de la même manière, pour recevoir les pavés de leurs édifices, ou celui de leurs grands chemins. On trouve dans Vitruve une description très-détaillée, sur la formation des aires, que nous allons placer ici dans son entier. Voici comment il s'exprime à ce sujet, au Chapitre Ier. du VIIe. Livre.

De la manière de faire les massifs pour les aires, et des pavés[1].

« Je vais d'abord traiter de la préparation des aires, opération primi-
» tive dans la formation de toute espèce d'enduit, et d'autant plus es-
» sentielle, que la solidité de l'ouvrage dépend entièrement du soin avec
» lequel elle a été faite.

» Après avoir aplani la surface du sol à préparer (si l'emplacement
» est à rez de chaussée) et s'être assuré qu'il présente partout une
» consistance uniforme, on y étendra le plus également possible un
» lit de blocage; mais si l'on rencontrait un terrain formé en tout ou en
» partie de terres rapportées, il faudrait avoir grand soin de l'affermir
» en le pilonnant.

» S'il s'agit d'établir l'aire d'un plancher, il faudra soigneusement
» éviter qu'aucun des murs qui divisent l'étage inférieur, sans dépasser
» dans l'étage supérieur, ne vienne affleurer le dessus de la charpente; il
» vaut mieux, dans ce cas, tenir la tête des murs moins élevée et la faire
» joindre ensuite par quelques plates-formes; car lorsque la tête du mur
» affleure le plancher, et que les bois viennent à s'affaisser, soit par le

[1] *De ruderatione* (et Pavimentis.)

Primùmque incipiam de ruderatione, quæ principia tenet expolitionum, uti curiosiùs summaque providentia solidationis ratio habeatur.

Et si plano pede erit ruderandum, quæratur solum si sit perpetuò solidum, et ita exæquetur, et inducatur cum statumine rudus : si autem omnis, aut ex parte, congestitius locus fuerit, fistucationibus cum magnâ curâ solidetur.

In contignationibus verò diligenter est animadvertendum, ne, qui paries non exeat ad summum, sit extrectus sub pavimentum, sed potius relaxatus suprà se pendentem habeat coaxationem. Cùm enim solidus exit, contignationibus arescentibus aut

» desséchement, soit par l'effet de la charge, il s'opère nécessairement » des ruptures dans le pavé, à droite et à gauche du mur, dont la con- » struction n'éprouve aucune retraite.

» Il est bien essentiel de faire attention qu'il ne se trouve pas de plan- » ches de chêne, mêlées à celles d'*esculus* [1], parce que les premières » étant sujettes à se tourmenter à la moindre humidité, ne manque- » raient pas d'opérer des désunions dans le pavé. Cependant, si l'on se » trouvait dans la nécessité d'employer le chêne, faute de pouvoir se » procurer l'*esculus*, on pourrait s'en servir, en ayant soin de tenir les » planches moins épaisses, de manière que leur effet puisse être faci- » lement maîtrisé par l'action des clous. Dans ce cas, il conviendra » d'arrêter les planches sur chaque solive, au moyen de clous le long » de chaque rive; étant ainsi maintenues elles ne pourront occasioner » aucun dommage. Établi avec le *cerrus* [2], le *farnus* [3], ou le hêtre, un » ouvrage de ce genre n'aurait pas une durée suffisante.

» Les planches étant posées, il faudra les recouvrir d'un lit de paille, » ou de fougère, pour les préserver de l'action corrosive de la chaux. » Alors on étendra une couche de pierrailles, dont le volume ne sera » pas moindre de celui que la main peut contenir. Le corps du massif » qui doit recouvrir cette couche de pierres se prépare ainsi : si les » débris qu'on y emploie proviennent de matières neuves, on en for- » mera un mélange dans la proportion de trois parties, sur une de

pandatione sidentibus, permanens structuræ soliditas dextra ac sinistra secundum se facit in pavimentis necessariò rimas.

Item danda est opera, ne commisceantur axes esculini quernis, quod querni simul humorem perceperunt, se torquentes rimas faciunt in pavimentis. Sin autem esculus non erit, et necessitas coegerit propter inopiam uti quernis, sic videtur esse faciundum, ut secentur tenuiores : quo minùs enim valuerint, eo facilius clavis fixi continebuntur. Deindè in singulis tignis extremis partibus axes, binis clavis figantur, uti nullâ ex parte possint se torquendo angulos excitare. Namque de cerro, aut fago seu farno, nullus ad vetustatem potest permanere.

Coaxationibus factis, si erit, filex, si non, palea substernatur, uti materies ab calcis vitiis defendatur. Tunc insuper statuminetur ne minore saxo quàm quod possit manum implere. Statuminationibus inductis rudus si novum erit, ad tres partes una calcis misceatur; si redivivum fuerit, quinque ad duum mixtiones habeant responsum. Deinde

[1] Voyez le Livre Ier., page 174, n°. 3.
[2] *Ibidem*, n°. 4.
[3] *Ibidem*, n°. 6.

» chaux; mais s'ils proviennent d'anciens matériaux, la proportion sera » de deux parties de chaux sur cinq de matière. Après que ce mélange » aura été bien également étendu sur toute la superficie, des *manœu-* » *vres*, armés de leviers ou de battes de bois, seront employés à le mas- » siver par des coups très-rapprochés les uns des autres; l'opération » sera terminée quand la masse sera réduite aux trois quarts de son » épaisseur.

» Ce massif est ensuite recouvert d'un ciment, composé d'une partie » de chaux pour trois parties de tuileaux pilés, réparti sur une épais- » seur dont la dimension ne saurait être moindre de six doigts.

» C'est sur cette dernière couche que l'on dispose, avec la règle et le » niveau, les compartimens formés de tranches entre-coupées ou de » petits morceaux de rapport.

» Après que ce travail sera terminé, s'il existe des inégalités à la » surface, il faudra, si c'est un ouvrage à compartiment, l'user au » moyen du frottement, jusqu'à ce que les arêtes des figures carrées, » triangulaires ou lozanges, ne forment plus enfoncement ou saillie, et » que tous les joints d'assemblage se trouvent ramenés dans un seul et » même plan.

» Si le pavé est formé de petits morceaux jointifs, il faut qu'aucun de » leurs angles n'excède la surface; s'il en était autrement, l'opération » du frottement n'aurait pas été assez exactement faite.

» Les conditions sont les mêmes à l'égard des pavés en briques, dis-

rudus inducatur et vectibus ligneis, decuriis inductis, crebriter pinsatione solidetur, et id pinsum absolutum non minùs crassitudine sit dodrantis.

Insuper ex testâ nucleus inducatur, mixtionem habens ad tres partes unam calcis, ne minore sit crassitudine pavimentum digitorum senum.

Supra nucleum ad regulam et libellam exacta pavimenta struantur sive sectilia, seu tesseris.

Cum ea extructa fuerint, et fastigia extructiones habuerint, ita fricentur, uti si sectilia sint, nulli gradus in scutulis, aut trigonis aut quadratis seu favis extent, sed coagmentorum compositio planam habeat inter se directionem.

Si tesseris structum erit, ut eæ omnes angulos habeant æquales, nullibique à fricturâ extantes : cum enim anguli non fuerint omnes æqualiter plani, non erit exacta, ut oportet fricatura.

Item testacea spicata tiburtina sunt diligenter exigenda, ut non habeant lacunas nec extantes tumulos, sed sint extenta et ad regulam perfricata. Super fricaturam, leviga-

» posées en épis ou à la *tiburtine*; aucune de leurs parties ne doit s'écar-
» ter en dessus ou en dessous de la surface, qui doit contenter la règle
» sur tous les sens après avoir été frottée. Le frottement achevé et la
» surface une fois bien dressée et polie, on y répandra du marbre
» pulvérisé qu'on recouvrira d'une légère couche de mortier fin (afin
» de remplir les joints).

» Le pavement des terrasses exigera des précautions particulières,
» parce que, soit que les bois travaillent par l'effet de l'humidité ou de la
» sécheresse auxquels ils sont constamment exposés, soit qu'ils cèdent
» sous l'effort de la charge, le pavé ne saurait demeurer intact. Les
» atteintes de la gelée et des frimats nuisent encore beaucoup à leur
» conservation.

» D'après ce qui vient d'être dit, si l'on se trouvait dans la nécessité
» d'en établir, voici comment il faudrait procéder pour prévenir, autant
» que possible, toute espèce d'accident. Il faudra d'abord recroiser le pre-
» mier rang de planches par un second, arrêté de même avec des
» clous, de manière à garantir les solives par une double couverture.
» On préparera un mélange composé de rocailles neuves et d'un tiers
» de tuileaux concassés, dont on formera un mortier en y joignant
» deux parties de chaux sur cinq de mélange.

» Cette préparation achevée, on l'étendra sur le plancher; son épais-
» seur ne saurait être moindre d'un pied, après avoir été battue. En-
» suite, après avoir recouvert ce massif d'une couche de ciment, tel que
» nous l'avons expliqué ci-dessus, on appliquera le pavé, composé de
» petits parallélipipèdes d'environ deux doigts de grosseur, en ayant
» soin d'observer une pente générale de deux doigts par pied. Si ce

tionibus et polituris cum fuerint perfecta, incernatur marmor, et supra loricæ ex calce et arenâ inducantur.

Sub dio vero maximè idonea facienda sunt pavimenta, quod contignationes humore crescentes aut siccitate decrescentes seu pandationibus sidentes movendo se faciunt vitia pavimentis : præterea gelicidia et pruinæ non patiuntur (ea) integra permanere.

Itaque si necessitas coegerit, ut minimè vitiosa fiant, sic erit faciundum. Cùm coaxatum fuerit, super altera coaxatio transversa sternatur, clavisque fixa duplicem præbeat contignationi loricationem; deinde ruderi novo tertia pars testæ tunsæ admisceatur calcisque duæ partes ad quinque mortarii mixtionibus præstent responsum.

Staturninatione facta, rudus inducatur; idque pinsum absolutum ne minus pede sit crassum. Tunc autem nucleo inducto, uti suprà scriptum est, pavimentum è tesserâ

» travail est conduit avec toute la prudence convenable et qu'en der-
» nier lieu la surface en soit bien unie, il sera à l'abri de toute atteinte
» Afin que la matière dont les joints sont remplis n'éprouve aucune
» altération des gelées, il faudra, tous les ans avant l'hiver, avoir le
» soin de l'abreuver de marc d'huile; cette précaution écartant toute
» humidité, la gelée n'y saurait causer aucun dommage.

» Si l'on voulait apporter encore plus de recherche dans l'établisse-
» ment d'un ouvrage de ce genre, il faudrait recouvrir le premier massif
» de grandes briques de 2 pieds carrés posées en liaison sur un lit de
» mortier : ces briques ayant leurs bords recreusés en forme de canal,
» d'environ un doigt d'ouverture, on en remplirait le vide, en les po-
» sant, d'un mélange (ou mastic) préparé avec de l'huile et de la chaux;
» et, après les avoir bien dressées tout autour, on les assemblerait en les
» pressant fortement sur leurs joints [1]. De cette manière, la chaux, dont
» les rainures sont remplies, acquérant une grande dureté, aucune in-
» filtration ne pourra s'opérer à travers les joints. Après avoir terminé
» ce dallage on étendra dessus le ciment que l'on massivera en le frap-
» pant avec des bâtons flexibles. On établira ensuite, avec des pentes
» convenables, le pavé soit en briques, soit en pierres cubiques, de la
» manière précédemment indiquée. Des terrasses établies, comme on
» vient de l'expliquer, n'éprouveront de long-temps aucune avarie. »

grandi circiter binum digitum cæsa struatur, fastigium habens in pedes denos digitos binos; quod si benè temperabitur et rectè fricatum fuerit, ab omnibus vitiis erit tutum.

Uti autem inter coagmenta materies ab gelicidiis ne laboret, fracibus quotannis ante hyemem saturetur; ita non patietur in se recipere gelicidii pruinam.

Sin autem curiosiùs videbitur fieri oportere, tegulæ bipedales inter se coagmentatæ supra rudus substratâ materiâ collocentur, habentes singulis coagmentorum frontibus excisos caniculos digitales, quibus junctis impleantur calce ex oleo subactâ, confricenturque inter se coagmenta compressa. Ita calx, quæ erit hærens in canalibus, durescendo, non patietur aquam neque aliam rem per coagmenta transire. Cùm ergo fuerit hoc ita perstratum, suprà nucleus inducatur, et virgis cædendo subigatur. Suprà autem sive ex tesserâ grandi, sive ex spicâ testaceâ struantur, fastigiis quibus est suprà scriptum; et, cum sic erunt facta, non citò vitiabuntur.

[1] Jusqu'à présent, aucuns fragmens de briques de ce genre n'ont été découverts dans les ruines des édifices antiques; mais le *refouillement des joints en forme de canal* a été observé par J.-B. Piranesi entre les pierres formant les murs de la conduite d'un aquéduc de Rome. Indépendamment de ce moyen de suture, les pierres étaient encore reliées entre elles par des crampons en fer, scellés en plomb, et les parois intérieures de la conduite, tapissées d'une couche épaisse de mortier. (*Voyez la Planche* XIX *du Tome premier des Antiquités Romaines, par Piranesi. Rome*, 1779).

Cette description est confirmée par un grand nombre d'observations. Ainsi les aires antiques étaient composées de trois couches :

La première, appelée *statumen*, était composée de petites pierres irrégulières, à peu près de la grosseur du poing lorsqu'il s'agissait d'aire au rez-de-chaussée, et de la grosseur d'un œuf lorsqu'elle devait être faite sur des planchers. Plusieurs auteurs ont prétendu que cette première couche était posée à sec. Cependant en visitant les ruines des anciens édifices de Rome, de Pompéia et de la ville Adrienne, j'ai reconnu que cette première couche était formée de pierres irrégulières posées en mortier, comme la maçonnerie de blocage.

La seconde couche, appelée *rudus*, ne paraît différer de la première qu'en ce que les pierres sont beaucoup plus petites : c'est une espèce de béton composé de recoupes ou de petits cailloux broyés avec de la chaux nouvellement éteinte. La solidité de l'aire dépendait de ces deux couches, qui devaient être battues et réduites aux trois quarts environ de la hauteur des matières fraîches, c'est-à-dire, à un *dodrans* ou $\frac{3}{4}$ du pied romain antique, répondant à 8 pouces $\frac{1}{4}$ du pied de Paris ou 243 millimètres.

La troisième couche, désignée par le mot de *nucleus*, c'est-à-dire noyau, était un mortier de ciment dont la moindre épaisseur devait être de six doigts du pied romain, répondant à 4 pouces $\frac{1}{2}$ du pied de Paris ou 122 millimètres. C'est sur cette couche qu'on posait le pavé en terre cuite, en marbre, ou en mosaïque.

La composition des aires était la même, soit qu'elles dussent être faites sur la terre, sur des voûtes ou sur des planchers de charpente.

Les Figures 4 et 5 de la Planche LX, représentent la disposition des différentes couches qui formaient les aires sur les planchers, d'après le texte de Vitruve :

Dans ces deux figures, A indique les solives ;

B, les planches jointives de chêne arrêtées par deux clous sur chaque solive ;

C, le second rang de planches posées et clouées en travers sur le premier, pour les aires à découvert ou formant terrasse ;

D, le lit de fougère qu'on étendait sur les planches pour les garantir des effets caustiques de la chaux ;

E, la première couche de maçonnerie en petites pierres, appelée *statumen* ;

F, la seconde couche en béton, ou mortier de chaux et pierrailles appelée *rudus;*

G, la troisième couche en mortier de chaux et tuileaux pilés, désignée sous le nom de *nucleus;*

K, le carrelage en grandes briques, que Vitruve propose de placer entre le *rudus* et le *nucleus* pour les aires à faire sur les terrasses;

H, le pavé en pierre, en marbre ou en terre cuite, pour former le dessus de l'aire.

La construction des aires antiques ne différait que par les opérations préliminaires exigées par leur situation, et par l'épaisseur des couches qui était plus considérable pour celles faites au rez-de-chaussée.

On trouve encore des parties d'aires antiques parfaitement conservées dans les ruines de plusieurs édifices. La cause de leur durée peut être attribuée à deux précautions essentielles que les constructeurs romains ne négligeaient jamais : la première était de bien consolider le sol sur lequel elles devaient être établies, et la seconde était de les comprimer en les battant.

En plusieurs endroits de la ville Adrienne et de Pompéia, j'ai vu dans des angles de murs des parties d'aires faites sur des planchers dont tous les bois sont détruits, et qui se soutiennent comme des voûtes; on remarque en dessous les trous des solives, espacés de manière que les intervalles sont environ doubles de l'épaisseur des solives; on y voit les marques de l'épaisseur des planches, l'impression des fougères qu'on étendait dessus, et les différentes couches de maçonnerie dont l'aire était formée, disposées comme l'explique Vitruve; avec les pavés de petites briques en épis à la tiburtine, des mosaïques, ou des pavés formés de petits dés d'environ six lignes en carré de base.

Dans les ruines de la ville Adrienne, j'ai examiné une terrasse dont le pavé établi sur une voûte était bien conservé. Par l'arrachement des parties qui se voyent encore à plusieurs bâtimens, j'ai reconnu qu'elle est composée d'un massif en blocage ou *statumen*, d'environ 8 pouces d'épaisseur, sur lequel était une couche de mortier de pierrailles ou béton d'environ 4 pouces, appelée *rudus*; sur cette couche est posée une espèce de pavé en petites briques de champ d'environ 4 pouces de long sur 2 pouces de large et 8 lignes d'épaisseur, c'est-à-dire, 108 millimètres de long sur 54 de large, et 18 d'épaisseur. Ces briques sont arrangées en épis ou points d'Hongrie, comme les pavés à la tiburtine.

Sur ce pavé est une couche de mortier de ciment fin d'environ 3 pouces, dans laquelle sont enfoncés de petits parallélipipèdes de marbre à base carrée, de 10 à 12 lignes de longueur sur 3 lignes de grosseur, formant la superficie supérieure du pavé. Le long du mur du fond et des murs latéraux en retour, sont des espèces de glacis en ciment pour rejeter l'eau vers le milieu de la terrasse et garantir ces murs.

Par plusieurs restes des thermes de Caracalla, on peut conjecturer qu'une grande partie du dessus de ces thermes était couverte en terrasse dont le pavé était formé par des parallélipipèdes à base carrée en pierre de *peperino*; leur longueur était d'environ 1 pouce $\frac{1}{2}$ sur 8 lignes de gros. J'ai remarqué dans l'épaisseur des aires de plusieurs de ces terrasses, des arrachemens de grandes briques de 2 pieds romains en carré, qui formaient un lit ou carrelage intérieur, comme le conseille Vitruve.

Des aires ou pavés à la grecque.

Vitruve, au Chapitre IV du VIIe. Livre, donne les détails suivans sur la construction d'une espèce d'aire dont les Grecs faisaient usage dans leurs appartemens d'hiver, et surtout pour les salles à manger situées au rez-de-chaussée. Voici la traduction de ce passage.

« Après avoir exposé les raisons pour lesquelles les voûtes doivent » être polies et sans aucun refouillement (dans les salles à manger » d'hiver), il ne sera pas déplacé de parler d'un genre de pavé en usage » en Grèce, pour ces appartemens, bien que dans sa construction l'utile » soit préféré à l'agréable.

» Pour l'établir, on commence par creuser le sol de la salle d'envi- » ron 2 pieds de profondeur, et après avoir piloné le terrain, on le re- » couvre d'une couche de blocage ou d'un pavé de briques, en observant » (au milieu) un bombement qui forme autour une espèce de canal.

» Ce massif est recouvert ensuite d'un lit de charbon qu'on foule avec » les pieds et sur lequel on étend, sur une épaisseur d'un demi-pied, un

[1] Explicatâ camerâ purâ et politâ, etiam pavimentorum non erit displicens, si quis animadvertere voluerit, Græcorum ad hibernalium usum minimè sumptuosus et utili, apparatus.

Foditur enim infra libramentum triclinii altitudo circiter pedum binum, et solo fistucato inducitur aut rudus aut testaceum pavimentum, ita fastigatum, ut in canali habeat nares.

» mortier de chaux et sable mêlé de cendre, en formant une surface
» droite et bien nivelée ; on finit ensuite avec la pierre à user le dessus
» de ce pavé, qui présente une teinte noirâtre.

» Cette aire ainsi préparée a l'avantage d'emboire à l'instant même
» tout ce qui peut se répandre des coupes et des vases pendant le festin,
» et si les serviteurs qui se tiennent dans la salle n'ont pas de chaussures,
» ils n'éprouveront aucun froid sur un pavé de cette espèce. »

Des pavés ou aires établis de cette manière pourraient être employés avec avantage pour des salles à manger, des appartemens de bains, ou des laboratoires de chimie.

Des pavés à la vénitienne, dits composti *et* pavimenti terrazzati.

Les nombreux ouvrages d'architecture publiés à Venise par divers commentateurs de Vitruve, et plus encore la nature des localités, auront pu contribuer, sans doute, à introduire et à propager l'usage des aires et pavés à la manière des anciens, devenu presque général dans cette ville. Les renseignemens que nous avons recueillis, dans le pays même, sur la confection de ces ouvrages, forment, à notre avis, le meilleur commentaire du texte de cet auteur, et servent à faire connaître certains détails purement pratiques, que l'exécution seule pouvait révéler.

Ces aires sont formées d'une couche de ciment d'environ 4 pouces d'épaisseur (10 à 11 centimètres), composée d'un mélange de tuileaux et de briques bien cuites, grossièrement écrasés et broyés avec de bonne chaux. On met ordinairement une partie de chaux éteinte sur trois parties et demie de tuileaux et de briques mélangées. Il faut que cette couche soit mise, en une seule fois, dans toute l'étendue qu'elle doit avoir ; on l'étend avec des râteaux à pointes de fer, comme celui marqué I, Fig. 3 de la Planche LX. Ceux qui veulent faire un ouvrage plus solide, n'emploient que du tuileau : d'autres, par économie, forment cette couche d'un tiers d'éclats de pierres, un tiers de gravats et un tiers

Deindè congestis et spissè calcatis carbonibus inducitur ex sabulone et calce et favillâ mixtâ materies crassitudine semi-pedali ad regulam et libellam, et summo libramento cote despumato redditur species nigri pavimenti.

Ita conviviis eorum et quod poculis et pytismatis effunditur, simul atque cadit siccessitque, quique versantur ibi ministrantes, etsi nudis pedibus fuerint, non recipiunt frigus ab ejus modi genere pavimenti.

de chaux éteinte broyés ensemble; mais ce procédé ne produit pas un ouvrage solide. La première couche étant bien étendue et dressée de niveau, on la laisse reposer pendant un jour ou deux, selon la saison. Au bout de ce temps on la bat avec une batte de fer coudée, représentée par la Fig. M. La partie qui frappe est méplate, un peu arrondie en forme de langue. On commence à battre le long d'un des murs, et on continue en se reculant parallèlement jusqu'au mur opposé, comme pour le *lastrico*. On met un jour de distance entre cette battue et la suivante, que l'on commence d'un des murs en retour, afin de croiser les coups de la première. On continue cette opération par intervalles jusqu'à ce qu'on sente, p r la réaction de la batte, que la couche a acquis la consistance et la fermeté convenables, ce qui se reconnaît lorsque les coups ne laissent presque plus de trace.

Après l'avoir laissée ressuyer pendant un jour, on étend une seconde couche d'environ 1 pouce $\frac{1}{2}$ d'épaisseur (4 centimètres), composée de tuileau pulvérisé, broyé avec une quantité à peu près égale de chaux éteinte. On se sert, pour étendre cette couche, de truelles longues et étroites, dont le manche est fort haut. Sur cette couche, encore fraîche, on sème de petits morceaux de marbre de différentes couleurs qu'on fait entrer dans la couche en roulant dessus un cylindre de pierre d'environ 2 pieds $\frac{1}{2}$ de long sur 11 pouces de diamètre (80 centimètres sur 30). Pour faire cette opération, les ouvriers marchent sur des planches ou des nattes. On bat ensuite cette seconde couche, comme la première, avec le même instrument, mais avec moins de force et plus de précautions, jusqu'à ce que les petits morceaux de marbre soient tout-à-fait enfoncés et recouverts par la partie fine qui monte à la surface : cette opération se fait par intervalles, c'est-à-dire, de deux jours l'un.

Ce n'est ordinairement qu'au bout de dix à douze jours qu'on commence à travailler la surface, c'est-à-dire, à la dégrossir avec un grès emmanché dans un morceau de bois à long manche, représenté par la Fig. L, où il est retenu avec des coins, afin de pouvoir le changer lorsque la superficie commence à se dresser, pour en substituer d'autres dont le grain soit plus fin, et enfin de la pierre ponce. Cette opération exige de laver de temps en temps pour ôter la boue, afin de juger si le marbre est assez découvert, en sorte qu'elle dégrade un peu les joints; c'est pourquoi on fait avec des terres colorées et de la chaux une pâte ou ciment fin qui tient de la teinte générale qui résulte du mélange

des marbres. On se sert, pour l'appliquer, d'une pierre tendre qui sert de molette, figurée par la lettre P. On donne le lustre à ce ciment avec une espèce de truelle polie, un peu arrondie en dessous. On termine enfin ce pavé par une ou deux couches d'huile de lin très-chaude, qui, en le pénétrant jusqu'à une certaine profondeur, lui donne une consistance qui facilite le poli et le rend très-brillant.

La méthode que nous venons de détailler varie selon les ouvriers, dont quelques-uns prétendent avoir des secrets particuliers pour rendre l'ouvrage plus beau et plus durable.

On fait des pavés ou *terrazzi* avec des compartimens très-riches, ornés d'enroulemens, de rinceaux et de fleurons comme des tapis. Pour cela, on dessine un quart en grand sur du papier un peu gros. Après avoir divisé l'aire en ciment, sur laquelle il doit être exécuté, en quatre parties égales, par deux lignes qui se croisent à angles droits, on applique le dessin piqué sur chacune, et on le ponce avec du charbon pilé, en le renversant, pour répéter les parties symétriques et opposées de chaque quart.

Pour opérer, on commence par disposer par tas séparés les petits morceaux de marbre de même couleur. Pour parvenir à les rendre à peu près de même grosseur, on les fait passer d'abord au travers d'un grillage de fil de fer fait exprès, dont les mailles, d'environ deux lignes, ne laissent passer que les morceaux trop petits, ensuite par un autre dont les mailles un peu plus grandes ne laissent passer que ceux de grandeur convenable, et retiennent ceux qui sont trop gros, qu'on écrase de nouveau pour les soumettre à la même épreuve. Il y a une certaine dextérité, qui s'acquiert par l'usage, pour donner à ces morceaux de marbre à peu près une même forme et une même grosseur.

Pour placer ces morceaux de marbre dans la couche de ciment à demi ressuyée, on se sert de cartons découpés qu'on applique sur le tracé, qui ne laisse paraître que ce qui doit être d'une même couleur; on y sème à la main, le plus également possible, les fragmens de marbre qu'on enfonce dans l'enduit, en les frappant avec un morceau de bois plat. Il faut soigneusement éviter et d'en trop mettre, parce qu'alors ils sont sujets à se détacher, et d'en mettre trop peu, par la raison que les parties en ciment étant toujours moins dures que les marbres, se creusent et produisent un mauvais effet.

Quand tous les compartimens ont été garnis des marbres qui leur

conviennent, on passe dessus le cylindre de pierre N, à plusieurs reprises, pour aplanir la superficie; on la bat ensuite par intervalles avec précaution, jusqu'à ce qu'elle ait acquis la fermeté et la consistance nécessaires pour pouvoir être dressée au grès et polie, comme il a été expliqué précédemment.

Quand l'opération est finie, afin de rendre les contours plus nets, on les trace avec une pointe d'acier bien tranchante, et on remplit le trait avec du noir de fumée, broyé à l'huile de noix [1].

Si l'on veut que ces compartimens se conservent long-temps beaux, il faut avoir soin de choisir des marbres d'une dureté à peu près égale, car les plus tendres, s'usant plus vite que les autres, forment des inégalités désagréables.

Lorsque ces aires, ou *terrazzi*, doivent être faites à rez-de-chaussée ou sur des voûtes, on commence par former un massif de maçonnerie de blocage battu et arasé bien de niveau.

Si c'est sur des planchers, il faut que les solives soient un peu plus fortes que pour les pavés ordinaires, c'est-à-dire, que sur 12 pieds de long ou 4 mètres, elles doivent avoir 7 à 8 pouces de gros (19 à 21 centimètres) espacées tant plein que vide. Sur ces solives, on pose en travers des planches d'environ 1 pouce d'épaisseur (27 millimètres), arrêtées sur chaque solive par deux clous; avant de jeter la première couche, on couvre la superficie des planches d'un lit de paille.

Dans les maisons particulières, on fait des *composti* d'une seule couleur, ou de plusieurs, mêlées de manière à former une espèce de granite.

Ceux qui veulent faire moins de dépense, se contentent de l'enduit de ciment bien battu et dressé, peint en rouge et frotté comme les carreaux en terre cuite à Paris. Mais la surface est plus droite et plus unie; on y trace quelquefois des lignes pour imiter différens compartimens de carreaux.

Du lastrico.

On désigne à Naples, sous ce nom qui signifie pavé, une aire ou couche de mortier ou béton fait avec des débris de pierres ponces et de tuf brûlé qui se trouvent par veines aux environs de cette ville, à une certaine profondeur. Ces débris sont désignés sous le nom de *rapillo* ou

[1] Ce mode de pavement a été dernièrement employé avec succès à Paris, pour former le sol de la colonnade du Louvre.

plutôt *lapillo*, ou pierrailles, dont les plus gros morceaux sont moindres qu'une noix; on mêle ce *lapillo* avec de la chaux éteinte depuis huit jours, bien dissoute, et réduite à la consistance de lait un peu épais; on broye ce mélange à plusieurs reprises en l'arrosant avec cette chaux; les parties les plus fines tiennent lieu de sable. On laisse reposer cette espèce de mortier pendant vingt-quatre heures, après lesquelles on le rebroye de nouveau; pendant ce temps on remarque qu'il s'échauffe et fermente : on le rebroye une troisième fois en l'humectant avec du lait de chaux s'il est devenu trop sec, et lorsqu'on s'aperçoit que le mélange n'a pas acquis le degré de consistance qu'il doit avoir, et qu'il fermente encore, on le rebroye une quatrième fois, après l'avoir laissé reposer.

Lorsqu'on veut faire usage de cette composition pour tenir lieu de carrelage dans les appartemens, on commence par boucher tous les joints et fentes du plancher avec de la chaux en pâte un peu ferme; ensuite on étend dessus un lit de petites pierres à sec, bien arrangées, qui ne passe pas 2 pouces d'épaisseur.

Sur ce lit de pierres sèches on jette, en une seule fois, le lastrico bien broyé. Il doit former une couche d'environ 5 pouces d'épaisseur (13 centimètres $\frac{1}{2}$), pour être réduite à 3 pouces 9 lignes (10 centimètres) après avoir été battue. On ne commence à la battre que vingt-quatre heures après environ, afin qu'elle ait acquis assez de consistance et de fermeté pour qu'on puisse marcher dessus. On emploie d'abord, pour la massiver, de grosses battes de bois (Voyez Planche IV, Figures 18, 19 et 20), en frappant toujours du même sens. Les ouvriers qui font cette opération se rangent le long d'un des côtés de la chambre, et vont, en se reculant, jusqu'à ce qu'ils soient arrivés au côté opposé; ils font la même opération avec des battes moins fortes, en partant d'un des côtés en retour, afin de croiser les coups; ils répètent cette opération jusqu'à ce qu'ils sentent, par la réaction de la batte, que le lastrico a la fermeté nécessaire. On le bat ordinairement jusqu'à trois fois, en mettant un jour d'intervalle entre chaque battue.

Lorsque le lastrico doit être fait sur des terrasses pour servir de couverture aux maisons, comme on le pratique à Naples et aux environs, on lui donne 7 à 8 pouces d'épaisseur (19 à 21 centimètres), indépendamment du lit de petites pierres posées à sec sur le plancher. On réduit cette épaisseur en le battant, comme nous venons de l'expliquer, à 5 pouces $\frac{1}{2}$ environ (15 centimètres); après cette opéra-

tion on le couvre de 6 pouces de terre, afin de l'empêcher de gercer, jusqu'à ce qu'il soit assez sec pour ne pas craindre les impressions de l'air. Si c'est dans la belle saison, il faut à peu près deux mois; si c'est à la fin de l'automne, on le laisse couvert jusqu'au printemps. Le lastrico bien fait ne forme qu'une seule pièce, et il devient si dur qu'on peut, avec les débris des anciens, faire des marches d'escalier et des appuis de croisée. Au défaut de vieux lastrico, on en fait exprès qui sont bons à mettre en œuvre au bout de trois ou quatre mois[1].

Des aires en plâtre.

Les aires en plâtre ordinaire n'acquièrent pas assez de dureté pour pouvoir servir de pavé comme celles en ciment. On a cependant essayé d'en faire en gâchant d'excellent plâtre avec de l'eau où l'on avait fait détremper de la suie de cheminée, et un peu de colle de Flandre; on en formait une couche d'environ 1 pouce d'épaisseur, sur laquelle on traçait des compartimens de parquet : on leur donnait ensuite une couleur de bois à l'encaustique, que l'on frottait à l'ordinaire : mais ces aires, quoique bien faites, ne sont pas d'une longue durée et sont sujettes à être rayées par les meubles qu'on peut traîner dessus, et de plus ils craignent l'eau et l'humidité.

Les aires en plâtre ne peuvent servir que pour recevoir des carreaux de pierre, de terre cuite ou de marbre.

On fait à Paris, en plâtre, les aires qu'on fait ailleurs en mortier, telles que celles au rez-de-chaussée et sur les voûtes; on les recouvre de dalles, de carreaux de pierre ou de terre cuite.

Lorsque ces aires se font sur des planchers, on arrange sur les solives des lattes jointives, qu'on se dispense souvent de clouer, sur lesquelles on étend une couche de plâtre d'environ 2 pouces d'épaisseur. Les ouvriers prétendent que cette couche suffit pour tenir les lattes, mais il vaut mieux les clouer : si la dépense est un peu plus grande, les aires sont aussi plus solides, parce qu'alors elles ne font plus qu'un même corps avec les solives, et ne sont plus sujettes à s'en détacher et à gauchir.

[1] Il résulte des expériences faites sur un morceau de lastrico apporté de Naples, que sa pesanteur spécifique n'est guère plus grande que celle du bois de chêne, et que sa force et sa dureté sont égales à celles de la lambourde de Saint-Maur et du Vergelé. (*Voyez Livre Ier., page* 220.)

DEUXIÈME SECTION.

CONSTRUCTION DES MURS EN MAÇONNERIE.

CHAPITRE PREMIER.

DES MURS EN MOELLONS

Des différentes espèces de maçonneries (extrait du Chapitre VIII du Livre IIe. de Vitruve).[1]

« Voici quelles sont les différentes manières de construire en ma-
» çonnerie : celle dite en forme de réseau est aujourd'hui la plus
» usitée; l'autre appelée indéterminée est d'une origine plus ancienne. La
» première est plus agréable à la vue, mais elle est très-sujette aux
» déchiremens parce que la disposition (*oblique*) de ses joints ne pro-
» cure ni assiette ni liaison aux parties dont elle se compose. Dans la
» construction indéterminée, les moellons sont au contraire bien assis
» l'un sur l'autre, et leurs joints sont enlacés entre eux; d'où il résulte
» que, si, comme celle en treillage, elle ne présente pas une disposition
» régulière, elle a du moins l'avantage d'être infiniment plus solide.

» L'une et l'autre doivent être établies en pierres d'un très-petit
» volume, parce que le mortier qui entre dans les joints contribue
» beaucoup à la solidité des ouvrages de ce genre. Comme ces pierres
» sont ordinairement d'une nature tendre et poreuse, elles pom-
» pent par l'absorption tous les sels du mortier; c'est pourquoi il est
» essentiel de ne l'employer qu'à grandes doses, afin que le mur ne soit
» pas si promptement purgé de l'humidité nécessaire à sa consolida-
» tion. En effet, le mortier trop subitement privé de toute humidité,
» par l'aridité des moellons, a perdu en même temps le principe sous

[1] *De generibus structuræ.*

Structurarum genera sunt hæc : reticulatum, quo nunc omnes utuntur, et antiquum, quod incertum dicitur. Ex his venustius est reticulatum, sed ad rimas faciendas ideò paratum, quòd in omnes partes dissoluta habet cubicula et coagmenta. Incerta verò cæmenta, alia super alia sedentia interseque implicata, non speciosam sed firmiorem quàm reticulata præstant structuram.

Utraque autem ex minutissimis sunt instruenda, uti materiâ ex calce et arenâ crebiter parietes satiati diutiùs contineantur. Molli enim et rara potestate cùm sint, exsiccant sugendo è materiâ succum : cùm autem superarit et abundarit copia calcis et arenæ, paries plus habens humoris non citò fiet evanidus, sed ab his continebitur. Simul autem

» l'influence duquel peut s'opérer l'union intime de la chaux et du » sable; dès lors les moellons n'étant plus assez fortement maintenus, » il en résulte des murs qui tombent en ruine au bout d'un certain » temps.

» Les environs de cette ville offrent une foule d'édifices revêtus de » pierre et de marbre, sur des murs construits en blocage, et qui » peuvent servir à constater ces fâcheux résultats; les pierres tendres » mêlées avec le mortier s'emparent d'abord d'une partie de l'humide » qu'il contient, et lorsque l'ouvrage est entièrement sec le mortier » n'a pris aucune consistance; alors les murs ne tardent pas à se dé- » verser de toutes parts, et rompant les assemblages qui maintenaient » les revêtemens, ils les détachent et les recouvrent bientôt de leurs » propres ruines.

» Que celui qui voudra prévenir des conséquences aussi graves, » après avoir fixé à 2 pieds l'espace que doit occuper le mur entre les » deux revêtemens, érige ce mur en pierres taillées, en briques ou en » moellons ordinaires, et qu'il y rattache ensuite les placages avec des » crampons de fer scellés en plomb. Un mur ainsi établi, au lieu d'être » formé de matériaux entassés sans ordre, pourra se conserver long- » temps intact, parce que les lits et les joints procurant aux morceaux » qui entrent dans sa composition, une assiette et une liaison natu- » relles, aucun d'eux ne peut être repoussé au dehors; et les pièces » du revêtement étant aussi reliées entre elles (*ainsi qu'au mur*), ne » pourront plus être renversées.

» C'est pourquoi la maçonnerie des Grecs n'est nullement à mépriser:

humida potestas è materiâ per cæmentorum raritatem fuerit exucta, calx quoque ab arenâ discedit et dissolvitur, itemque cœmenta non possunt cum his cohœrere, sed in vetustatem parietes efficiunt ruinosos.

Id autem licet animadvertere etiam de nonnullis monumentis, quæ circa urbem facta sunt è marmore seu lapidibus quadratis, intrinsecùsque medio calcata farturis : vetustate evanida facta materia, cæmentorumque exucta raritate proruunt, et coagmentorum ab ruinâ dissolutis juncturis dissipantur

Quod si quis noluerit in id vitium incidere, medio cavo, servato secundum orthostatas intrinsecùs, ex rubro saxo quadrato aut ex testâ aut silicibus ordinariis struat bipedales parietes, et cum his ansis ferreis et plombo frontes vinctæ sint. Ità enim non acervatim sed ordine structum opus poterit esse sine vitio sempiternum, quod cubilia et coagmenta eorum inter se sedentia et juncturis alligata non protrudent opus, neque orthostatas interse religatos labi patientur.

Itaque non est contemnenda Græcorum structura : non enim utuntur è molli cæmento

» ils n'emploient pas (*comme nous*) des moellons tendres pour obtenir » des surfaces bien dressées; mais lorsqu'ils renoncent à la pierre de » taille, ils la remplacent par des moellons de pierre siliceuse ou de pierre » dure ordinaire ; et construisant comme avec des briques, ils recroi- » sent les joints de toutes les assises : de cette manière ils procurent à » l'ouvrage une solidité à toute épreuve.

» Ils observent deux arrangemens différens dans les constructions de » ce genre : l'un est nommé *isodomum*, ou régulier, et l'autre *pseudi-* » *sodomum*, ou varié. L'*isodomum* offre une parfaite égalité dans la » hauteur des assises (*et la grandeur des pierres*) ; dans le *pseudiso-* » *domum*, au contraire, les rangées d'assises (*et la grandeur des pierres*) » sont inégales et variées. L'un et l'autre sont d'une égale solidité, d'a- » bord parce que les moellons étant d'une qualité dure et compacte » n'absorbent point l'humide du mortier, et qu'ils lui conservent au » contraire une fraîcheur perpétuelle ; ensuite, étant posés par lits » dressés et de niveau, ils ne mettent pas la force du mortier à l'é- » preuve, mais formant dans l'intérieur du mur une liaison naturelle, » ils sont invariablement maintenus dans l'ensemble de la maçonnerie.

» Il y a une autre espèce de maçonnerie qu'ils nomment *emplecton* » (*entre-mêlée*), et dont on fait usage dans nos campagnes : dans celle- » ci les faces seules des pierres sont régulièrement taillées, le reste » demeure comme il se trouve, et l'espace qui reste entre elles est » garni en mortier : mais nos constructeurs, pour aller plus vite en » besogne, élèvent les deux faces du mur en forme de revêtemens, et » se contentent de remplir ensuite l'intervalle en maçonnerie de blo-

structura polita, sed cùm discesserint à quadrato, ponunt de silice seu de lapide duro ordinario et ità, uti lateritia struentes, alligant eorum alternis choris, coagmenta et sic maximè ad æternitatem firmas perficiunt virtutes.

Hæc autem duobus generibus struuntur : ex his unum isodomum alterum pseudisodomum appellatur. Isidomum dicitur, cùm omnia choria æquâ crassitudine fuerint structa : pseudisodomum, cùm impares et inæquales ordines choriorum diriguntur. Ea utraque sunt ideò firma, primum quòd ipsa cæmenta sunt spissâ et solidâ proprietate, neque de materiâ possunt exugere liquorem, sed conservant eam in suo humore ad summam vetustatem ; ipsaque eorum cubilia primùm plana et librata posita, non patiuntur ruere materiam, sed perpetuâ parietum crassitudine religata continent ad summam vetustatem.

Altera quam ἔμπλεκτον appellant, quâ etiam nostri rustici utuntur : quorum frontes poliuntur, reliqua, ità uti sunt nata, cum materiâ collocatâ alternis colligant coagmentis. Sed nostri celeritati studentes, erectos choros locantes frontibus serviunt, et in medio farciunt fractis separatim cum materiâ cæmentis : ità tres suscitantur in eâ structurâ crustæ,

» cage; il en résulte des murs formés de trois *placages*, savoir, les » deux paremens et le remplissage. Ce n'est pas ainsi qu'on opère en » Grèce; mais en alignant les paremens, on a soin de disposer les assises » de manière que les queues des moellons se recroisent dans l'épais- » seur de la maçonnerie: ensuite, au lieu de ne remplir le vide qu'a- » près coup, on affleure le milieu du mur au niveau de chaque assise.

» Outre cela, les Grecs distribuent de distance en distance des mor- » ceaux débités d'égale épaisseur et parmentés à leurs extrémités, aux- » quels ils donnent le nom de *diatonous* (*parpains*), qui ajoutent encore » à la solidité du mur, en le reliant fortement sur son épaisseur.

» Nous en avons dit assez pour que quiconque voudra consulter » ces commentaires pour faire choix d'un genre de maçonnerie, de- » meure suffisamment éclairé sur le fait de sa durée. Au reste, on ne » saurait trop insister sur cette vérité, qu'une maçonnerie en pierres » tendres, bien que plus parfaite en apparence, ne peut vieillir sans se » détériorer. C'est aussi pourquoi, dans l'estimation des murs mitoyens, » les juges (*lorsqu'ils sont construits de cette manière*) ne s'arrêtent » pas au prix qu'ils ont coûté à établir; mais par les divers marchés » de location qu'ils trouvent dans les titres, ils en déduisent autant de » 80e. qu'il y a d'années qu'ils sont bâtis, et la somme restante repré- » sente la valeur du mur. Cette décision est fondée sur ce que leur » durée ne peut s'étendre au delà d'un pareil nombre d'années. Lors- » qu'au contraire, ces murs sont bâtis en briques, et qu'ils ont bien » conservé leur aplomb, ils ne subissent aucune dépréciation, et leur va- » leur est toujours portée au même prix qu'ils ont coûté à construire. »

duæ frontium et unâ mediâ farturæ. Græci verò non ità; sed plana collocantes, et longitudines chororum alternis coagmentis in crassitudinem instruentes, non media farciunt, sed è suis frontatis perpetuam et in unam crassitudinem parietem consolidant. Præterea interponunt singulos perpetuâ crassitudine utrâque parte frontatos, quos διατόνους appellant, qui maximè religando confirmant parietum soliditatem.

Itaque si quis voluerit ex his commentariis animadvertere et eligere genus structuræ, perpetuitatis poterit rationem habere. Non enim quæ sunt è molli cæmento subtili facie venustatis, eæ possunt esse in vetustatem non ruinosæ. Itaque cùm arbitria communium parietum sumuntur, non æstimant eos quanti facti fuerint, sed cùm ex tabulis inveniunt eorum locationis pretia, præteritorum annorum singulorum deducunt octogesimas, et ità ex reliquâ summâ partem reddi jubent pro his parietibus, sententiamque pronuntiant eos non posse plus quàm annos octoginta durare. De lateritiis verò dummodò ad perpendiculum sint stantes, nihil deducitur, sed quanti fuerint olim facti, tanti esse semper æstimantur.

Les observations dont Vitruve accompagne la description qu'il donne des différentes maçonneries en usage de son temps, peuvent être considérées comme autant de leçons sur cette matière : elles servent en même temps à constater, d'une manière précise, l'état de cet art en Grèce et en Italie, à l'époque où cet auteur écrivait. En effet, bien qu'on ne puisse qu'applaudir aux raisons sur lesquelles il se fonde pour prescrire l'ordre et l'arrangement des matériaux, comme principe unique de toute solidité en maçonnerie ; il n'en est pas moins vrai qu'une foule de constructions, postérieures à cet architecte, établies dans les divers pays soumis à la domination romaine, d'après les procédés qu'il réprouve, ont traversé les siècles sans autre dégradations que celles qu'elles ont reçues de la main des hommes ; et que leurs ruines présentent encore aujourd'hui tous les garans d'une longue durée. D'où l'on peut inférer, à notre avis, que, du temps de Vitruve, la construction en maçonnerie n'avait pas encore atteint ce degré de perfection auquel elle parvint dans la suite, sous le règne d'Auguste même, et de ses successeurs, ainsi qu'on pourra le voir par les nombreux exemples dont il est fait mention dans ce Chapitre.

S.-J. Frontin, administrateur des eaux de Rome, sous l'empereur Nerva, qui a écrit ses Commentaires sur les aquédnes de cette ville, plus de cent ans après Vitruve, parle du temps le plus favorable à l'établissement des ouvrages de maçonnerie. Nous allons rapporter ce passage, aussi curieux à connaître, qu'utile pour témoigner des progrès de l'art de bâtir pendant cette période. Voici comment il s'exprime, à ce sujet, au CXXIII^e paragraphe de cet ouvrage :

« Le temps est convenable pour les constructions en maçonnerie, de-
» puis le mois d'avril jusqu'au mois de novembre, en observant toutes
» fois, pour bien faire, de suspendre les travaux pendant cette partie de
» l'été où toutes les substances sont pénétrées d'une chaleur brûlante :
» en effet, une température modérée est nécessaire pour maintenir plus
» long-temps la maçonnerie dans cet état d'humidité nécessaire à sa con-
» solidation. Un soleil ardent ne cause pas moins de préjudice au mortier que la gelée [1]. »

[1] Idoneum structuræ tempus est à kalendis aprilibus in kalendas novembris, ità ut optimum sit intermittere eam partem æstatis quæ nimiis caloribus incandescit : quia temperamento opus est, ut ex humore commodè structura combibat, et in unitate corroboretur. Non minus autem sol acrior, quàm gelatio præcipit materiam.

Opus incertum [1], *ou assemblage de moellons de toutes formes.*

L'origine de cette espèce de maçonnerie, représentée par les Fig. 1 et 2 de la Planche LXI, remonte à la plus haute antiquité; on en attribue l'invention aux anciens Étrusques. Elle paraît avoir été imitée de certaines carrières où les pierres se trouvent ainsi disposées naturellement. Telle est celle qui se voit auprès du lac de Bolsena et de l'ancienne ville de *Volsinium*, capitale du pays des Volsques, où se tenaient les assemblées générales des douze peuples de l'ancienne Étrurie, dans le temple de la déesse Vulturna.

Les petites pierres et les tufs des environs de Rome étaient plus propres, par leur irrégularité, à former l'*incertum*, que la maçonnerie par rangs d'assises; parce que cette dernière exige des pierres ou moellons dont les lits soient naturellement formés.

Les angles et les extrémités des murs construits à joints incertains, ont besoin d'être consolidés par des parties de maçonnerie ordinaire, disposées par rangs d'assises horizontales. Dans plusieurs édifices antiques, ces parties sont construites en briques. La Fig. 1 de la Planche LXI, représente une encoignure de mur antique de Pompéïa, mais le moyen indiqué par la Figure 2 est le plus ordinaire [2].

[1] Voyez, au Chapitre Ier. du Livre IIe., page 3, ce que nous avons dit au sujet de ces diverses dénominations, que tous les commentateurs ont également appliquées aux constructions en pierre de taille.

Perrault, qui n'avait pas été en Italie, a pensé que cette espèce de maçonnerie était semblable à celle que nous appelons limosinage, où les pierres sont rangées par rangs d'assises, il proposait de lire *insertum* avec un *s* au lieu d'*incertum*. Il traduit *insertum* par le mot entrelacé, mais il est évident que cette explication peut également convenir à la maçonnerie à joints incertains, puisque les pierres y sont encore plus entrelacées que dans la maçonnerie ordinaire; de plus, le mot *incertum* désigne mieux l'irrégularité des joints qui caractérise cette espèce de maçonnerie.

[2] Ce genre de maçonnerie a été en usage jusqu'au règne des empereurs. Les plus anciennes ruines de Rome et des environs, sont construites de cette manière, tels que le temple de Vesta, la Villa de Mécénas, les restes de la maison de Quintilius Varus, à Tivoli; le temple de la Fortune à Préneste. On trouve encore des constructions de ce genre à Terracine, à Fondi, à Pouzzol, à Pompéïa et en plusieurs autres endroits.

Les constructeurs romains qui, d'après le précepte que donne Vitruve à la fin du Chapitre V du Livre Ier., savaient tirer un parti avantageux de tous les matériaux qui se trouvaient dans les pays où ils bâtissaient, ont adopté, pour la maçonnerie en cailloux dont ils ont quelquefois fait usage, la disposition irrégulière de l'*opus incertum*, afin de relier l'ouvrage en tous sens, et que dans les paremens des murs en élévation, chaque caillou portât au moins sur deux points, et qu'il se trouvât, pour ainsi dire, enclavé et

Opus reticulatum, *ou moellons à faces carrées, assemblés en forme de réseau.*

Ce genre de maçonnerie, nommé δικτυωτον, par les Grecs, forme l'ouvrage le plus agréable qu'on puisse faire en petites pierres. Il était fort en usage vers les derniers temps de la république romaine. Une grande partie des ruines qui sont aux environs de Rome est construite en maçonnerie réticulée pour les paremens extérieurs, et le milieu en blocage.

L'ouvrage réticulé est ordinairement formé de petites pierres ou tufs dont la face présente un carré d'environ 3 pouces ou 8 centimètres en tous sens, disposées en losanges ou échiquier, comme on le voit à la Figure 4, Planche LXI. Ces pierres ont une queue de 5 à 6 pouces de longueur (13 ½ à 16 centimètres) qui va en diminuant de grosseur, et qui s'enfonce plus ou moins dans l'épaisseur du mur, afin de se lier avec la maçonnerie en blocage du milieu.

Cet ouvrage est encadré par des parties de maçonnerie en liaison formées avec de petits moellons écarris en même pierre, de 7 à 8 pouces de long (19 à 22 centimètres), sur 3 pouces d'épaisseur environ (1 décimètre), et de 4 à 6 pouces de largeur (11 à 16 centimètres), afin de former liaison dans l'épaisseur du mur. Souvent, au lieu de petits moellons, ces encadremens sont faits en briques.

Après avoir expliqué les inconvéniens qui résultent de l'emploi de pierres tendres pour former les murs en maçonnerie, Vitruve et Pline, d'après lui, observent, à l'égard du *reticulatum*, qu'il est sujet à se lézarder. Il est certain que, bien que la disposition des joints de ce genre d'ouvrage soit plus agréable à la vue, elle est cependant contraire aux vrais principes de l'art de bâtir. Néanmoins, le grand nombre d'édifices construits de cette manière, dont les ruines subsistent encore de nos jours [1], nous portent à penser que le premier n'a pas touché la

soutenu par tous ceux dont il était environné, soit qu'il s'agît de pavé ou de mur, ainsi qu'on peut le voir par la Figure 3, Planche LXI.

Plusieurs constructeurs modernes ont fait cette maçonnerie par rang d'assises, comme on le voit à la Fig. 6; mais cette disposition est vicieuse, en ce que chaque caillou, considéré indépendamment du mortier, ne portant que sur un point, n'a pas une assiette suffisante, en sorte que ces murs n'ont presque pas de solidité, et sont sujets à se lézarder et à s'écrouler.

[1] Les restes du mausolée d'Auguste offrent un des plus beaux exemples de ce genre de construction, par la perfection avec laquelle il est exécuté. Les petites pierres à faces

véritable cause des accidens qu'il signale. En effet, c'est plutôt à la mauvaise qualité du mortier, qu'à la nature des pierres que la ruine des édifices, dont il parle, doit être attribuée, et le passage de Pline, que nous avons cité au Livre Ier. de cet ouvrage, page 151, vient encore à l'appui de cette assertion. L'influence de la saison où ces constructions avaient été faites, pouvait aussi, comme Frontin l'observe très-judicieusement, contribuer à leur peu de solidité. Au reste, il est essentiel de remarquer que tous ces revêtemens en petites pierres, *minutissimis cœmentis*, et leurs combinaisons avec les briques n'avaient, la plupart du temps pour objet que de décorer les murs et massifs en

carrées ont 2 pouces 7 lignes en tous sens (2 onces $\frac{3}{4}$ du pied antique), sur 5 pouces 6 lignes de longueur (un demi pied romain). Elles forment des prismes réguliers, mais dont la base apparente est seule correctement taillée. L'épaisseur des joints est réglée à 4 lignes (4 minutes $\frac{1}{3}$ du pied antique).

Les vastes ruines de la ville Adrienne, près de Tivoli, sont en maçonnerie réticulée, exécutée avec beaucoup d'art. On y voit des parties si bien conservées, qu'elles paraissent plutôt des constructions modernes interrompues, que des ruines d'édifices qui ont plus de seize siècles d'antiquité.

L'ouvrage le plus remarquable en ce genre est un mur d'un édifice qu'Adrien fit bâtir à l'imitation du pæcile d'Athènes; sa longueur est de près de 200 mètres (613 pieds), sur 8 mètres de haut (25 pieds), et 72 centimètres d'épaisseur (27 pouces). Ce mur, qui est isolé dans toute sa longueur, est encore en très-bon état et bien d'à-plomb : on a percé dans la masse de grandes portes charretières de 4 mètres de largeur, pour passer des voitures de foin, sans que ces percemens paraissent avoir endommagé le mur, et le dessus qui a environ 3 mètres de haut (8 à 10 pieds) se soutient en l'air par la seule force du mortier. Ce mur est divisé sur la hauteur par bandes horizontales de 13 à 14 décimètres de haut (4 pieds 2 pouces), par cinq rangs de briques formant ensemble des assises de 10 pouces de haut (27 centimètres).

Le milieu du mur est en maçonnerie de blocage de petits moellons irréguliers et de recoupes de pierres, posés à bain de mortier, et bien garni.

Auprès du stade, on voit des restes d'édifices dont les murs sont aussi en maçonnerie réticulée. Quelques-uns de ces murs ont 10 mètres de haut (31 pieds) sur 60 centimètres d'épaisseur (22 pouces); ils ne sont pas divisés par bandes, mais encadrés avec de petits moellons écarris. On aperçoit sur les faces de quelques-uns de ces murs, qui sont encore en très-bon état, les trous des crampons ou agrafes qui retenaient les lambris de marbre dont ils étaient revêtus et qui en indiquent les compartimens; on y remarque, à de certaines distances, des tasseaux de marbre scellés dans le mur, et qui paraissent avoir été destinés à soutenir les pièces les plus saillantes.

On peut encore citer, parmi les exemples nombreux de l'extrême ténacité du mortier des anciens, dans les constructions de ce genre, les ruines d'un portail qui formait l'entrée d'un portique couvert, ou crypto-portique, dans une maison de campagne de Domitien, à cinq milles de Rome, sur le chemin de Frascati. Piranesi en a donné une représentation très-fidèle dans ses œuvres d'architecture.

blocage, comme d'une espèce de mosaïque, sans contribuer en rien à leur solidité [1].

La combinaison des parties de maçonnerie réticulée, avec des encadremens de petits moellons écarris, et posés en liaison, est fort agréable. Je crois qu'on pourrait l'employer avec succès pour la construction de certains édifices, qui n'ont besoin d'autre décoration que la régularité de leur construction comme des murs de terrasse, des grottes, des serres et autres.

On pourrait débiter les losanges et les petits moellons à la scie à dents, en y employant des pierres tendres de bonne qualité, telles que le Vergelé fin, le Conflans, le Saint-Leu, la lambourde de Saint-Maur, pour Paris et les environs, et celles de qualités analogues, en d'autres lieux [2].

Il serait facile de trouver des moyens simples et expéditifs pour débiter toutes ces pierres. Cette construction serait plus agréable que la brique, et pourrait devenir moins coûteuse.

Elle pourrait se maçonner en plâtre ou en mortier, et présenterait à l'extérieur un aspect moins commun que les constructions en moellons apparens ou revêtus d'enduits.

Isodomum, pseudisodomum, *et maçonneries modernes qui y répondent.*

Après le jugement éclairé que Vitruve a porté sur les différens genres de maçonnerie, et les principes que nous avons développés au Chapitre II du second Livre, on ne saurait mettre en doute que quelle que puisse être, dans tous les cas, la force avec laquelle le mortier lie ensemble les moellons de toutes espèces, et la consistance qu'il acquiert lui-même, la disposition par rangs d'assises, ainsi qu'on le pratiquait en Grèce, ne soit en même temps la plus naturelle et la plus solide dans la maçonnerie comme dans la construction en pierre de taille.

Nous avons déjà fait connaître, à l'occasion des constructions en pierre de taille, en quoi diffèrent ces deux genres d'ouvrages, dont le premier, représenté par les Figures 1 et 7 de la Planche X [3], n'admet,

[1] On voit aux environs de Naples, dans d'anciens revêtemens battus de la mer, les pierres elles-mêmes détruites, et le mortier de pouzzolane, encore subsistant, former comme des cellules vides qui résistent seules à l'action des vagues.

[2] Voyez, au Livre Ier., la description des pierres des différens pays, pages 60 à 93, et les Tables de la page 211 et suivantes.

[3] La planche LXII représente les ruines d'un mur d'une ancienne fabrique, près la tour

ainsi que son nom l'indique, aucune variété dans son ensemble; tandis que l'autre est susceptible d'une foule de combinaisons dont les Figures 2, 3, 4, 5 et 6 de la même Planche peuvent donner une idée, en raison des différences de formes et de mesures que peuvent recevoir les élémens qui entrent dans sa composition.

Au reste, les rangs peuvent être d'inégales hauteurs et les pierres de grandeurs différentes, sans que, pour cela, les murs aient moins de solidité, si d'ailleurs ils sont bien construits à bain de mortier, et si les pierres sont bien arrangées en raison de leur forme et de leur grandeur, et disposées en liaison, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur.

Ces maçonneries répondent à celles en moellons piqués et au limosinage ou maçonnerie ordinaire en moellons bruts qui doivent être recouverts d'enduits.

La maçonnerie en moellons piqués a lieu pour les revêtemens et murs extérieurs, tels que des murs de terrasse et autres auxquels on veut donner une certaine apparence sans enduits.

Pour construire ces murs d'une manière convenable, les moellons qui doivent former les paremens doivent être écarris, avoir leurs lits et leurs paremens bien dressés; il faut qu'il soient posés par rangs d'assises en liaison, les uns sur les autres. Cet ouvrage est agréable en raison de ce que les rangs sont d'égale hauteur et les moellons de même grandeur; quant à la solidité, elle dépend de la manière dont les moellons sont posés, reliés et garnis à l'intérieur à bain de mortier ou de plâtre.

La maçonnerie en moellons bruts, appelée *limosinage*, ne doit différer pour la façon, de celle en *moellons piqués*, que par les paremens et les joints montans. Les lits des moellons doivent être aussi bien dressés que pour la maçonnerie en moellons piqués; ils doivent être, de même, posés en liaison les uns sur les autres, par rangs de niveau, le milieu bien garni en mortier ou en plâtre. Pour obtenir une liaison plus par-

de Métella. La longueur dans œuvre de ce mur est de 9 mètres ou 27 pieds, son épaisseur est de 20 pouces ou 54 centimètres. Les petits moellons écarris dont il est formé sont tous de même grandeur, c'est-à-dire de 8 pouces de long sur 3 pouces de haut, ou 22 centimètres sur 8. L'intérieur de ce mur est en blocage, bien garni de mortier et battu. La représentation exacte de l'état où se trouve ce mur, dont les paremens sont encore bien droits et bien conservés, prouve combien le mortier ajoute de consistance et de solidité aux constructions en petites pierres, quels que puissent être, d'ailleurs, leur forme et leur arrangement.

faite, et par conséquent une plus grande solidité, il serait à propos que les moellons des paremens fussent à peu près triangulaires en plan, comme on le voit, en *b*, Figure 1, Planche LXIII, et situés de manière que la pointe soit dans l'intérieur du mur, afin de pouvoir placer dans les espaces *d*, qu'ils laissent entr'eux, d'autres moellons, qui relieraient le milieu avec les paremens. Cette forme triangulaire doit être préférée à la rectangulaire *c*, Fig. 2, toutes les fois que les murs ont une épaisseur plus grande que le double de la longueur des moellons, comme dans les murs de 15 à 18 pouces : lorsqu'on n'a pas soin de relier ces murs de distance en distance avec des pierres qui forment leur épaisseur, ils sont sujets à se désunir dans le milieu.

Lorsqu'on veut avoir de bonne construction en maçonnerie, semblable à celle des anciens Romains, il faut de plus avoir soin de recommander aux ouvriers de poser leurs moellons sur un bon lit de mortier, de les battre pour les assujettir en place et les faire bien joindre, et après avoir bien garni le milieu du mur, et tous les vides entre les moellons, avec des petites pierres et des recoupes broyées avec le mortier, arraser le mur à chaque rang d'assise avec une bonne couche de mortier. Enfin, pour que le mortier s'unisse mieux avec les moellons, il serait à propos que les ouvriers eussent auprès d'eux une grande auge ou baquet plein d'eau, dans lequel ils tremperaient leurs moellons avant de les poser, et un panier à claire-voie pour les recoupes ou garnis qu'on tremperait de même avant de les broyer avec le mortier. Ce procédé, que j'ai vu pratiquer en plusieurs endroits d'Italie, est excellent pour les ouvrages qui doivent contenir de l'eau, tels que des bassins, des réservoirs, des aquéducs, et pour les ouvrages qui exigent une grande solidité, même pour ceux qui doivent être maçonnés en plâtre.

En comparant ce que nous venons de dire sur les moyens et les précautions à prendre pour faire de bonne maçonnerie, avec la manière dont la plupart des ouvriers opèrent, on ne doit plus être surpris du peu de durée des constructions modernes.

La plupart des ouvriers, après avoir posé les moellons des paremens en plâtre ou en mortier, se contentent de remplir le milieu avec des debris de pierrailles et de la poussière à sec, en sorte qu'ils n'emploient du mortier ou du plâtre que pour les paremens.

CHAPITRE DEUXIEME.

DES MURS EN BRIQUES.

Nous avons traité, au Livre Ier. de cet ouvrage [1], de ce qu'il est essentiel de connaître relativement à la fabrication des différentes espèces de briques; ce qui nous reste à dire sur leur emploi se borne à indiquer les combinaisons auxquelles leurs formes et leurs proportions les rendent propres dans la maçonnerie.

Nous avons réuni dans la Planche LXIV les différentes manières de combiner ces briques pour former des murs, des cloisons ou des languettes.

Les Figures 1 et 2 indiquent des cloisons et languettes formées par des briques posées de plat et de champ.

La Figure 3 fait voir l'arrangement pour les petits murs, ou fortes cloisons, formés de deux briques d'épaisseur.

Les Figures 4 et 5 présentent deux combinaisons différentes pour les murs dont l'épaisseur est de trois rangs de briques.

La Figure 6 offre une troisième combinaison, où l'on a fait usage de moitié de briques pour les remplissages marqués *a*.

La Figure 7 montre l'arrangement pour un mur de quatre rangs de briques. Il est évident qu'il peut y avoir plusieurs autres combinaisons : nous nous sommes bornés à celles qui conviennent le mieux pour la solidité et la simplicité. Mais il faut observer que pour une plus grande solidité, il faut que les briques qui lient deux rangs parallèles se relient aussi entre elles, comme on le voit indiqué par les lettres *b*, *c*, *d*.

La Figure 8 fait voir une excellente manière usitée en Hollande, pour liaisonner les murs ou massifs d'une très-grande épaisseur. Elle consiste à former les assises avec des rangs de briques posés obliquement, en donnant aux rangs de chaque assise une direction contraire pour qu'ils se croisent, ainsi qu'on le voit indiqué par les lettres *e*, *f*

Cette disposition exige des raccordemens qui se font de différentes manières. La plus simple et la plus convenable est de trancher obliquement le petit côté des briques. Si le parement doit être apparent, après que le mur est fait, on unit les superficies tranchées avec

[1] Ire. Section, Chapitre II, Article III.

une pierre de grès d'une certaine grosseur, emmanchée dans un sabot, qu'on promène sur le mur à l'aide de deux cordes attachées au sabot. Pour bien faire cette opération, il faut trois hommes, deux qui la font aller, par le moyen des cordes, de haut en bas, et de tout autre sens, tandis que le troisième appuie pour la faire *mordre*, en mouillant à mesure la partie frottée. On parvient, par ce procédé usité en plusieurs endroits de Flandre et d'Italie, à former des paremens parfaitement droits et réguliers, qui font le plus grand plaisir à voir.

Les Figures 9, 10, 11, 12 et 13, représentent les différentes combinaisons qu'on peut former avec des briques carrées ou des demi-briques, posées carrément ou diagonalement [1].

[1] La Figure 5 de la Planche LXI représente une espèce de maçonnerie variée ou mélangée qui a été employée au cirque de Caracalla, ou plutôt de Galien, comme le pense Fabretti. Ce qui me porte à le croire, indépendamment des raisons de cet auteur, c'est que ce genre de construction diffère beaucoup, tant par la forme que par la manière peu soignée dont il est exécuté, de celui en usage pour les édifices construits du temps de Caracalla, et entre autres les magnifiques thermes qui portent son nom, qu'il fit bâtir sur le mont Cœlio, dont les vastes ruines existent encore.

Cette maçonnerie, dont le milieu est en blocage, a, comme on le voit, ses paremens formés alternativement par un rang de petits moellons de tufs écarris et par un rang de briques triangulaires. Ce genre de construction, qui paraît plus économique que celui dont les paremens sont tout en briques, s'est moins conservé que les constructions dont les revêtemens ne sont formés que de petits moellons de tuf écarris.

La Figure 8 indique une maçonnerie aussi en moellons de tuf et briques tirées des ruines de Pompéïa, mais beaucoup mieux exécutée. Chaque assise est alternativement formée de trois rangs de briques et d'un rang de petits moellons de tuf qui sont à peu près de même hauteur. Cette construction, quoique plus ancienne, est mieux conservée.

Nous avons dit au Livre Ier. que les anciens fabriquaient des briques de toutes sortes de formes, soit pour les cintres, les noyaux des colonnes, ou pour les ornemens d'architecture. Cependant ils suppléaient quelquefois au défaut de briques faites exprès pour les cintres, par des moellons de tuf taillés en forme de coins, et posés alternativement entre un ou plusieurs rangs de briques.

Le fameux aquéduc de Caserte, bâti en 1753, sous la direction de Vanvitelli, architecte de Charles III, roi de Naples, est construit dans ce genre. On y voit alternativement deux rangs de moellons de tuf d'environ 6 pouces de haut sur moins d'un pied de long, et trois rangs de briques formant ensemble la même épaisseur que les moellons. Ces trois rangs de briques sont couverts d'un enduit de ciment fort dur. Les joints des moellons sont faits avec le même ciment. Toute cette construction paraît très-solide et s'est bien conservée.

Voir la Planche XX des additions aux Commentaires de S.-J. Frontin, dont nous avons donné la traduction française, suivie d'un précis d'hydraulique. Un vol in-4°., avec trente Planches. — Imprimerie de Firmin Didot. Paris, 1820.

CHAPITRE TROISIÈME.

DES MURS ET MASSIFS EN MAÇONNERIE MIXTE.

Εμπλεκτον des anciens, et maçonneries modernes qui y répondent.

A L'EXEMPLE des Grecs, on peut donner le nom de mixte à toute maçonnerie qui se compose d'élémens de formes ou de nature différentes, et dont le mortier forme le principal lien : tels étaient chez les anciens les murs et massifs qui avaient trop d'épaisseur pour que les moellons des paremens opposés pussent se joindre et se croiser entre eux. Le milieu était rempli par des moellons bruts posés à bain de mortier; et pour donner plus de consistance et de solidité à ce genre de construction, ils avaient soin de relier les deux paremens par de grandes pierres qui formaient toute l'épaisseur du mur. Cette maçonnerie était fort en usage chez les Romains. Vitruve blâme avec raison ceux qui après avoir fait les paremens en moellons écarris, en briques, ou en pierres de taille, remplissaient le milieu de pierres jetées sans ordre avec le mortier. Ce défaut d'arrangement doit en effet rendre ces constructions moins solides. J'ai remarqué, dans les constructions antiques de cette espèce qui se sont le mieux conservées, que les remplissages en petits moellons ou blocages paraissent avoir été arrangés avec un certain ordre, en sorte qu'ils sont tous enveloppés d'une quantité à peu près égale de mortier, et qu'aucuns ne se touchent à nu : cette quantité, comparée au volume des petites pierres ou blocages, est un peu moins de la moitié. J'ai encore remarqué que la grosseur de ces blocages était proportionnée à la grandeur des masses qu'ils forment. Dans les murs de 2 pieds d'épaisseur et au-dessous, tels que ceux dont les paremens sont en petits moellons écarris ou en briques, les petites pierres des remplissages sont moindres que la grosseur du poing [1].

[1] C'est à la bonté du mortier des anciens Romains et à la propriété qu'il avait de former avec de très-petites pierres, ou des briques, des constructions solides et faciles à exécuter, qu'il faut attribuer le nombre considérable de grands édifices bâtis sous les règnes des empereurs. Ce genre simple, qui permettait d'employer des milliers d'ouvriers à la fois, et qui se prêtait à l'exécution de toutes sortes de formes, rendait possible ce qui aurait été d'une difficulté insurmontable par les autres moyens. Les formes circulaires et les voûtes exigent, dans les constructions en pierres de taille et même en bois, des connaissances particulières, un travail extraordinaire, des matériaux choisis, ou d'un volume considé-

La maçonnerie de ces murs paraît avoir été faite (comme nous l'avons déjà dit) par encaissement dans des espèces de moules mobiles faits en planches, à peu près comme ceux dont on se sert pour le pisé. Les trous qu'on remarque dans les ruines de plusieurs murs antiques de Rome qui ont été dépouillés de leurs paremens, indiquent la position des traverses de bois qui servaient à ces encaissemens; ces trous sont à peu près rangés comme ceux des murs de pisé qui n'ont pas été recouverts d'enduits.

Les Figures 1, 2 et 4, Planche LXI, font voir l'intérieur des murs construits à joints incertains et réticulés, et le remplissage du milieu en maçonnerie de blocages.

La Figure 9 indique l'arrangement des revêtemens de briques triangulaires avec le remplissage du milieu, et la manière dont ces briques se relient à l'intérieur du mur. On y voit aussi le rang de grandes briques carrées placé à 4 pieds et demi romains les uns des autres, ou 4 pieds 1 pouce $\frac{1}{2}$ du pied de Paris, répondant à 13 décimètres 41 millimètres. Ces briques, qui ont ordinairement 2 pieds romains, 22 pouces du pied de Paris, ou 596 millimètres, formaient toute l'épaisseur des murs, afin de relier les deux paremens avec le milieu; elles répondaient aux pierres appelées par les Grecs *diatonous*, et à celles que nous appelons *parpains*.

La précaution que les anciens constructeurs romains avaient d'arraser et de battre leur maçonnerie de 4 pieds $\frac{1}{2}$ en 4 pieds $\frac{1}{2}$, obviait au las-

rable, difficile à transporter et à mettre en place; occasionent beaucoup de déchet, de temps et de dépenses, tandis que celles en petits moellons deviennent des ouvrages ordinaires qui ne demandent qu'un peu de soin.

On est étonné, lorsqu'on parcourt les ruines des anciens édifices de Rome, de voir qu'ils ont presque tous été construits avec de petites pierres informes, qui n'excèdent pas la grosseur du poing, et que nous rebuterions pour nos constructions les plus communes. C'est cependant de cette manière qu'ont été bâtis le palais des empereurs, la maison Dorée de Néron, qui en faisait partie, le temple de la Paix, le Panthéon d'Agrippa, les thermes, les cirques, les naumachies et la plus grande partie des théâtres et des amphithéâtres.

Les murs et points d'appui de la plupart de ces édifices ont été construits en maçonnerie de blocages revêtue de briques ou de petits moellons de tuf. On peut les considérer comme ayant été moulés, et ne formant qu'une seule pièce : on voit qu'il a fallu la violence pour détruire les parties qui manquent, puisque celles dépouillées de leurs revêtemens existent dans cet état depuis plusieurs siècles, et que les édifices, ou parties d'édifices antiques, construits dans le même genre, auxquels on a donné une destination, se sont conservés en aussi bon état que les édifices modernes construits à neuf, à l'époque de leur restauration

sement considérable dont ce genre de construction est susceptible; aussi on ne remarque, dans presque aucun des murs antiques qui existent, de lézardes ni de désunions.

Les modernes ont fait, dans plusieurs circonstances, des maçonneries par encaissement pour des fondemens, des ouvrages dans l'eau, ou destinés à en contenir. Leur procédé a été de former, avec du gros gravier ou des recoupes de pierres et de la chaux nouvellement éteinte, une espèce de mortier qu'ils nomment *béton*, et qui n'est autre chose que le *signinum* ou mortier hydraulique des anciens Romains. Dans les pays où la chaux est bonne, ce béton, bien fait et bien broyé, forme par la suite des masses d'une seule pièce. A Lyon on en fait usage pour fonder les puits, les murs de quai, les piles de pont : on en forme des bassins qui contiennent l'eau comme un vase de terre cuite. Pour que cette maçonnerie sèche plus vite, et qu'elle acquière plus de consistance, il faut qu'elle soit battue comme le signinum. On pourrait bâtir de cette manière des murs où l'on emploierait toutes sortes de débris et de pierrailles, en faisant usage d'encaissemens mobiles à peu près semblables à ceux qu'on emploie pour le pisé dont nous avons ci-devant donné les détails, Tome 1, pages 103 à 110, et la Figure de chaque pièce, Planches IV et V.

Des revêtemens en pierres de taille.

Dans la plupart des grands édifices, on s'est contenté de revêtir en pierres de taille les constructions en maçonnerie de moellons ou de blocage, pour leur donner à l'extérieur une plus belle apparence, et quelquefois aussi une plus grande solidité. Il est certain que, dans toutes les constructions qui ont de grands efforts latéraux à soutenir, les revêtemens en pierres de taille augmentent beaucoup leur solidité, parce qu'étant sujets à un moindre tassement, ils leur opposent une plus forte résistance.

Ainsi il faut distinguer deux espèces de revêtemens, dont l'un n'est qu'une espèce de placage et n'a pour objet que l'apparence, et l'autre qui a pour but la solidité. Ceux de la première espèce ne doivent être faits qu'après que les constructions principales sont achevées; c'est ainsi qu'en ont usé les anciens Romains et les Italiens modernes pour les façades de plusieurs grands édifices [1]. On trouve en plusieurs endroits d'Italie,

[1] Plusieurs voyageurs instruits, qui ont examiné et mesuré toutes les parties de la

et même de France, des exemples de maçonnerie en moellons ou en briques, avec des harpes pour la liaison des paremens en pierres de taille dont elles devaient être revêtues, et qui n'ont pas été exécutés.

Dans le second cas, les revêtemens faisant partie de la construction principale, et devant contribuer à en supporter la charge et les efforts, exigent un soin particulier, afin de prévenir, autant qu'il est possible, les inégalités de tassement et les accidens qu'ils occasionent. Le moyen le plus sûr pour les éviter est de battre la maçonnerie, et de former, à différentes hauteurs, des arasemens généraux, ainsi qu'on l'avait pratiqué à la tour de Cæcilia Metella.

La disposition des pierres de taille qui forment ce revêtement, représentée par la Figure 7 de la Planche LXV, est la plus propre à faire une construction solide qui se lie bien avec la maçonnerie de l'intérieur; aussi on n'y aperçoit aucun des accidens dont ce genre de construction est susceptible, par les tassemens inégaux qu'elle éprouve lorsqu'on n'apporte pas à son exécution les précautions que nous avons indiquées. On remarque que les parties détruites et ruinées de cette tour ne l'ont été que pour en arracher la pierre de taille du soubassement, et par les effets de la guerre; le haut ayant été changé en citadelle dans les dernières guerres civiles, pour servir de retraite à la famille des Gaëtani.

On a représenté sur la même Planche la pyramide de Cestius, qui tient aux murs de Rome, parce qu'elle est de même construction que la tour de Metella; les paremens B sont en marbre, et le milieu C en maçonnerie de blocage, Figure 3.

L'église et le dôme de Saint-Pierre de Rome ont été construits en maçonnerie de blocage, avec des revêtemens en briques et en pierres de taille. Mais comme on n'a pas apporté à ce genre de construction toutes les précautions que nous avons fait voir que les anciens y mettaient, et qui deviennent indispensables, lorsqu'elles doivent supporter une charge considérable, il en est résulté que les murs et soubassemens de la tour du dôme ont éprouvé des accidens qu'on a attribués à

grande pyramide d'Égypte, avec beaucoup de soin, ont reconnu, par les différentes fouilles qui ont été faites pour pénétrer dans l'intérieur de la masse, qu'elle était formée de pierres irrégulières maçonnées avec une espèce de mortier composé de chaux, de terre et d'argile. Cet immense massif était recouvert d'un double revêtement : le premier, en pierre de taille, disposée par gradins; et l'autre en marbre ou en granite, formant les surfaces extérieures qui étaient lisses et polies.

la poussee des voûtes, tandis qu'ils ne sont que l'effet de l'inégalité de tassement dont leur construction les rendait susceptibles.

Les Figures 1, 2 et 3 de la planche LXVI, représentent le plan, la coupe et l'élévation extérieure d'une partie de ce mur, avec deux de ses contre-forts, et le soubassement au-dessous jusques et compris le dessus des grands arcs.

Le revêtement intérieur est en briques recouvertes d'un enduit de stuc; les parties extérieures entre les contre-forts ne sont revêtues que d'un placage, de très-peu d'épaisseur, en pierre dite *travertine*; le milieu du mur est en maçonnerie de blocage; mais cette dernière, au lieu d'avoir été disposée par couches arasées et battues, à la manière des anciens, a été faite sans précautions, avec de petits moellons bruts et irréguliers, des pierrailles et débris d'anciennes constructions, jetées sans ordre avec le mortier. Les contre-forts extérieurs sont tous en pierres de taille, ainsi que la partie extérieure du soubassement.

D'après cette disposition, il devait nécessairement arriver que la maçonnerie de blocage, répondant à la plus grande charge, et étant susceptible d'un plus grand tassement, rejetterait, en s'affaissant, la majorité du fardeau sur les revêtemens: cette surcharge a dû occasioner tous les effets qui se sont manifestés, c'est-à-dire les lézardes, les désunions, les ruptures, les écrasemens, et l'espèce de déchirement qui a détaché les contre-forts du mur de la tour, ainsi que les parties de soubassement sur lesquelles ils portent; cette désunion générale, qui fait le tour du corridor F, pratiqué dans le soubassement, est indiquée par la lettre *f*, sur le plan, Fig. 1, Planche LXVI.

Ceux qui ont attribué ces effets à la poussée des voûtes, n'ont pas fait attention que si cet effet eût été assez puissant pour fracturer et désunir de toutes parts les murs de la tour, ils n'auraient pas pu résister un instant à un effort devenu plus grand encore par les désunions de la voûte, dans l'état de faiblesse où ils se trouvaient. Je me suis assuré, en examinant avec attention toutes les parties endommagées, que ces effets étaient une suite nécessaire de l'inégalité du tassement des différentes espèces de constructions.

Le père Jacquier, minime et savant mathématicien de Rome, avec lequel j'ai plusieurs fois visité ce monument, fut obligé de convenir, d'après les observations que je lui fis, que la principale cause de ces effets devait être attribuée à l'affaissement inégal des constructions, et que les

effets de la poussée n'étaient que secondaires. Nous traiterons plus particulièrement cette dernière question au Livre IXe., et nous terminerons par dire que ce genre de construction, quelque bien fait qu'il puisse être, ne doit jamais être employé pour des murs ou points d'appuis qui ont une très-grande charge à soutenir.

Comparaison des constructions en plâtre avec celles en mortier.

A Paris, où le plâtre a beaucoup de force, les maçons mettent la plupart du temps fort peu de soin dans les ouvrages de maçonnerie; ils ne daignent pas dresser les lits des moellons; souvent ils les posent tels qu'ils se trouvent, peu leur importe, parce qu'ils savent que le plâtre qui fait corps tout de suite *souffre tout*. En voyant les murs qu'ils construisent, avant qu'ils soient recouverts d'enduits, on a peine à concevoir comment ils peuvent se soutenir. Cependant, il existe des murs de face bâtis de cette manière, qui n'ont pas un demi-mètre d'épaisseur, ou 18 pouces, tout percés de croisées, et qui supportent six ou sept rangs de planchers et le comble au-dessus. La solidité précaire de ces murs ne dépend que de la force du plâtre qui unit les pierres des parements, et des enduits de même matière dont ils sont recouverts.

Cette propriété du plâtre est cause que les ouvriers de Paris font ordinairement de mauvaises constructions en mortier, par le peu de soin qu'ils y apportent; car, le mortier ne faisant pas corps tout de suite, il faut que l'arrangement des moellons soit assez bien fait, pour se soutenir pendant que la maçonnerie est encore fraîche.

Le plâtre est beaucoup plus commode pour les constructions des maisons ordinaires que le mortier, parce qu'il acquiert tout de suite la solidité dont il est susceptible, tandis qu'il faut plusieurs années au mortier; mais aussi il faut observer que la solidité des constructions en mortier va toujours en augmentant, au lieu que celle des ouvrages en plâtre va toujours en diminuant. Lorsque ces derniers sont exposés à l'humidité ou aux injures de l'air, ils ont besoin d'être renouvelés au bout de quinze à vingt ans.

Les ouvrages en mortier, en s'affaissant, prennent une consistance plus solide, par le rapprochement de leurs parties; tandis que ceux en plâtre changent de forme en augmentant de volume, se tourmentent et gauchissent par l'effet du renflement qui est toujours contrarié par

quelqu'obstacle. C'est pour cette raison que dans les villes où l'on bâtit en mortier, les édifices ont un apparence de solidité qu'on n'aperçoit pas dans ceux qui sont construits en plâtre. Les murs de face maçonnés en mortier se conservent droits et d'a plomb, tandis que ceux en plâtre gauchissent et perdent leur a plomb, quoique originairement ils aient été bâtis aussi droits que ceux en mortier. On s'aperçoit surtout de cet effet en parcourant les rues de Paris, et de l'effet contraire dans les villes où l'on construit en mortier, telles que Lyon, Bordeaux, Metz, Nancy, Lille, etc., et les grandes villes d'Italie, comme Turin, Florence, Rome, Naples, etc.

TROISIÈME SECTION.

CONSTRUCTION DES VOUTES EN MAÇONNERIE.

CHAPITRE PREMIER.

DES VOUTES EN MOELLONS.

Les voûtes peuvent être construites en pierres de taille, en moellons, en briques, en blocage, en plâtre, en bois, et même en métal.

On fait quelquefois un mélange de ces différentes constructions; ainsi, on construit des voûtes partie en pierres de taille, partie en moellons ou en briques, et quelquefois en plâtre pigeonné, comme dans certains édifices gothiques.

On peut désigner sous le nom de voûtes solides celles tout en pierres de taille; de voûtes légères, celles en tuf, en pierre ponce ou lave poreuses, en briques creuses, en plâtre et en bois; de voûtes moyennes, celles en moellons ou en briques pleines; et de voûtes mixtes, celles composées d'un assemblage de ces différentes constructions.

Nous avons détaillé, dans le Livre IIIe., tout ce qui a rapport à la formation des voûtes en pierres de taille : une partie de ce que nous avons dit à ce sujet peut être appliqué aux voûtes en moellons et en briques : ainsi, pour former des voûtes solides, il faut que les rangs de briques ou de moellons soient disposés comme nous l'avons ci-devant expliqué aux pages 101, 102 et suivantes du Livre IIIe.; c'est-à-dire que pour les voûtes d'arête, ou d'arc de cloître, il faut qu'ils soient parallèles à l'axe des parties de voute en berceau dont elles se composent : pour les voûtes coniques, il faut qu'ils tendent à la pointe du cône; et que pour les voûtes sphériques, sphéroïdes et conoïdes, ils soient par rangs ou couronnes concentriques, perpendiculaires à l'axe, ainsi qu'on le voit indiqué dans la Planche XXXII, en supposant les lignes des joints plus près les unes des autres.

Voici les détails que j'ai recueillis sur la manière d'opérer des meilleurs ouvriers, dans les pays où l'on construit le mieux, et les raisons de ces procédés, d'après l'expérience et la théorie

Les voûtes en moellons ou en briques s'exécutent sur des cintres formés de courbes en planches de sapin, posées de champ et doublées

au droit des joints, espacées d'environ un demi-mètre, et arrêtées sur des sablières placées le long des murs, soutenues à la hauteur des naissances par des poteaux : lorsque les cintres ont un grand diamètre, on ajoute d'autres sablières dans le milieu et dans les flancs, avec des poteaux pour les soutenir. Tous ces poteaux sont entretenus au moyen de planches ou de tringles de sapin posées en travers et cloucés dessus.

Lorsque la voûte doit être construite en mortier, on recouvre les courbes en planches plus minces, posées en travers, et cloucés de manière à former le galbe de la voûte, et pour lui servir, en quelque sorte, de moule. Si elle doit être construite en moellons, après les avoir grossièrement façonnés au marteau, on étend une couche de mortier à l'endroit où ils doivent être placés, tant sur le cintre que sur ceux déjà posés, avec lesquels ils se raccordent. Avant de les mettre en place, on a soin de les tremper dans un baquet d'eau pour qu'ils prennent mieux le mortier; en les posant on les frappe avec le marteau pour les bien faire joindre, en sorte qu'ils soient toujours bien d'équerre ou perpendiculaires à la surface du cintre, et que le joint du bas soit moins épais que celui du haut; et comme le plus grand effort se fait, pour la partie du milieu, contre les joints du haut, on a soin de les garnir avec des éclats de pierre. Dans plusieurs pays, on se sert pour cela d'une espèce de pierre qui se débite comme l'ardoise [1].

Il faut encore avoir soin que les moellons de chaque rang soient posés en liaisons les uns sur les autres. Dans les voûtes d'arête, et dans celles d'arc de cloître, pour former les arêtes saillantes ou rentrantes, on les dispose comme on le voit par les Figures 1 et 2 de la Planche LXVII.

[1] Quand une voûte en moellons est composée de plusieurs rangs de voussoirs superposés, il arrive quelquefois, malgré le soin avec lequel ces rangs doivent être liés entre eux, que, au sommet de la voûte, les joints à l'extrados se trouvant très-comprimés dès le premier tassement qui a lieu, tandis que les joints de l'intrados tendent au contraire à s'ouvrir, les rangs supérieurs ne s'abaissent que très-peu, tandis que les rangs inférieurs prenant tout le tassement nécessaire pour resserrer leurs joints autant qu'ils peuvent l'être, il résulte nécessairement une disjonction entre ces rangs.

On prévient cet accident, qui ôterait à la voûte toute sa solidité, en ayant soin lors de la pose, de serrer le plus exactement possible les joints des moellons à l'intrados, tandis qu'on pose librement les pierres à l'extrados, sans serrer les joints ni les laisser trop ouverts. Alors, quand le tassement a lieu après le décintrement, le rang supérieur, étant susceptible de prendre plus de compression et de tasser davantage que le rang inférieur, suit ce dernier dans l'abaissement du sommet de la voûte, et il ne peut plus y avoir de disjonction.

CHAPITRE DEUXIÈME.

DES VOUTES EN BRIQUES.

Voûtes en briques ordinaires, pour les appartemens.

Il y a deux manières de disposer les briques pour former une voûte, indépendamment de la direction des rangs On peut les placer de champ, selon leur largeur ou leur longueur, ou de plat comme pour un carrelage, en raison de la force et de la liaison qu'on veut donner aux voûtes. Nous verrons, ci-après, que les anciens constructeurs romains ont fait usage de ces deux moyens pour fortifier la surface intérieure de leurs grandes voûtes, dont le corps était formé de maçonnerie en blocage, et pour soulager les cintres en planches sur lesquels ils les construisaient.

Les constructeurs modernes ont employé ces deux moyens à la construction des voûtes formant plancher; et, afin de ménager la hauteur, ils ont donné très-peu d'élévation à leur cintre. Les uns, pour les raccorder avec l'aplomb des murs, ont formé ce cintre avec des demi-ellipses, ou imitations de cette courbe très-surbaissées, qui n'ont que le douzième, et quelquefois le quinzième de la largeur; d'autres les ont formés avec des arcs de cercle. Enfin comme le plâtre a la propriété de faire corps très-promptement, il a presque toujours été préféré au mortier, tant qu'il a été possible de s'en procurer.

Relativement à ce que nous venons de dire sur les espèces de voûtes qu'on désigne ordinairement sous le nom de voûtes plates, nous observerons que la position des briques de champ est celle qui convient le mieux pour les grandes voûtes, surtout pour celles maçonnées en mortier.

Les faces des briques étant parallèles, plus le rayon de la courbure du cintre sera grand, mieux elles s'ajusteront, surtout si le cintre est formé par un arc de cercle qui a partout une courbure égale; mais s'il est formé par une demi-ellipse, ou par une courbe de même genre, la courbure variant à chaque point, il en résulte que l'épaisseur de leurs joints à l'extrados augmente en allant du sommet aux naissances; en sorte que le tassement, ne pouvant pas se faire d'une manière uniforme, doit être plus grand pour les parties inférieures que pour les parties

supérieures, ce qui cause presque toujours une désunion au milieu des reins, surtout lorsque les voûtes sont maçonnées en mortier. Pour éviter cet effet, il faut avoir soin de garnir ces joints à l'extrados avec des tuileaux. Le moyen indiqué page 271, serait encore préférable.

Dans les voûtes maçonnées en plâtre, l'effort de cette matière étant très-considérable, occasione une plus grande poussée contre les murs. Quant au cintre, indépendamment de ce que nous avons dit au sujet de ces espèces de voûtes, pages 53 et suivantes du IIIe. Livre, l'expérience a fait connaître que la courbe qui leur convient le mieux est un arc de cercle, parce que la plus grande courbure des voûtes elliptiques ou en anse de panier, à leur naissance, ne peut avoir lieu qu'aux dépens de celle du milieu, d'où il résulte que dans ces dernières la partie du milieu étant plus plate, doit occasioner plus de poussée en raison de sa moindre courbure.

A l'ancien hôtel du Bureau de la Guerre, à Versailles, on a exécuté, à la place de planchers en bois, des voûtes plates, maçonnées en plâtre et briques de champ; mais au lieu de les disposer par rangs parallèles à l'axe, on a formé des arcs appliqués les uns contre les autres, comme on le voit représenté par les Fig. 11 et 12, Planche LXVII. Comme ces voûtes sont en berceau formé d'un arc de cercle, dont la flèche ou montée n'est que le quatorzième de sa largeur, on n'a eu besoin pour les construire que d'un cintre mobile en planches, d'environ un mètre de large, qu'on faisait couler après avoir fait la partie de voûte à laquelle il répondait, et ainsi de suite. Pour cela, on avait placé le long des murs, à la hauteur des naissances, des sablières droites et de niveau, arrêtées solidement, sur lesquelles le cintre pouvait glisser sans se déranger; ce cintre était soutenu dans sa portée par une ou deux autres sablières, en raison de la largeur de la pièce.

Lorsque la voûte d'une pièce était achevée, on garnissait les reins avec de petits moellons maçonnés en plâtre, et on posait sur l'extrados arasé de niveau un ou deux tirans de fer plat, selon la longueur de la pièce, pour retenir l'écartement des murs. On a construit de cette manière, tant à l'hôtel du Bureau de la Guerre qu'à celui des Affaires étrangères, cinq étages de voûtes les unes sur les autres, et toutes se sont maintenues jusqu'à présent en bon état : la plupart des pièces ont 18 pieds de largeur sur 25 pieds de long. On a formé sur ces voûtes, dans les différens étages, des cloisons de distribution en briques posées

de plat, portant avec leur enduit 5 à 6 pouces d'épaisseur. On a soutenu les voûtes au droit des passages des tuyaux de cheminée, par des linteaux de fer coudés et scellés dans les murs.

Cette disposition de briques peut également avoir lieu pour les constructions de voûtes en mortier, en formant le cintre dans toute son étendue, et le laissant jusqu'à ce que le mortier ait acquis une consistance convenable. Je pense même que ces voûtes auraient moins de poussée que celles formées par des rangs de briques parallèles aux murs qui les soutiennent, à cause de la liaison des briques, qui empêcherait qu'il se fasse des désunions dans le sens de leur longueur. Les reins seraient remplis avec de petits moellons maçonnés en mortier, et arasés de niveau avec des tirans de fer plat, comme pour celles en plâtre.

Les voûtes maçonnées en plâtre peuvent être employées avec avantage pour les endroits secs et à l'abri des intempéries de l'air; mais dans tous les autres cas, celles en mortier doivent être préférées, parce que le plâtre se décompose et perd toute sa force à l'humidité.

Voûtes formées avec des briques posées de plat et maçonnées en plâtre.

Cette manière de construire les voûtes, qui a quelque rapport, comme nous le verrons dans la suite, avec le procédé employé par les anciens constructeurs romains, nous vient du département des Basses-Pyrénées, ci-devant Roussillon, où elle est en usage depuis un temps immémorial. M. le maréchal de Belle-Isle, qui en avait vu faire dans le pays, est un des premiers qui en ait fait exécuter, pour mettre à l'abri des incendies les bâtimens des écuries, remises et granges de son château de Bisy, près Vernon. Afin d'être plus sûr de la réussite, il fit venir des ouvriers du pays. Les plus grandes voûtes qu'il fit faire sont celles des écuries, dont la longueur est d'environ 40 mètres, sur 10 de largeur. Ces voûtes étaient en berceau, avec un cintre en anse de panier, dont la hauteur était le cinquième de la largeur intérieure. Elles ne furent faites qu'un an après l'achèvement des murs et de la couverture, et lorsqu'on jugea que les premiers avaient éprouvé tout le tassement dont ils étaient susceptibles, tant de la part du sol que de leur construction qui était en moellons, avec des chaînes de pierre éloignées d'un peu moins de 5 mètres. L'épaisseur de ces murs était d'environ 82 centimètres, c'est-à-dire le douzième

de la largeur intérieure. On avait pratiqué, en construisant le mur, une espèce de tranchée de 15 à 16 centimètres de profondeur à la hauteur des naissances avec des assises en encorbellement au-dessus, pour se relier avec le massif des reins, ainsi qu'on le voit exprimé par les Fig. 13 et 14.

On ne fit faire pour cette voûte qu'une partie du cintre en planches d'un mètre de longueur, posées sur des sablières de niveau le long des murs, soutenues par des poteaux à la hauteur des naissances, et d'autres au milieu, solidement arrêtées, de manière à pouvoir faire glisser dessus la partie du cintre, après avoir achevé la partie de voûte correspondante (ainsi que nous l'avons déjà dit pour les voûtes de l'hôtel de la Guerre), à laquelle on avait laissé des harpes pour la liaison de la partie suivante. Pour construire la voûte, on commençait par nettoyer et bien arroser la partie de la tranchée qui devait recevoir la naissance; on posait ensuite un premier rang à plat sur le cintre, en mettant du plâtre sur le grand côté de son épaisseur qui devait lui servir de lit, et sur celui en retour qui devait se joindre avec celle déjà en place : avant de mettre le plâtre, chaque brique était trempée dans un seau ou baquet rempli d'eau, que l'ouvrier avait auprès de lui avec son auge, afin de faciliter une plus forte union du plâtre avec la brique. Après avoir fait ainsi les deux ou trois premiers rangs au-dessus des naissances, on en posait un second pour doubler la voûte, de manière à croiser les joints du premier en tous sens : pour cela, on posait le premier rang du doublage sur le petit côté de son épaisseur, et on le réduisait aux trois quarts de sa longueur, afin d'atteindre le milieu du second rang de la partie inférieure. Les autres rangs de briques du doublage se posaient à l'ordinaire sur leur long côté. Avant de poser ces briques, on mettait sur les premières une couche, en forme d'enduit, sur laquelle on appliquait les briques du doublage, après les avoir trempées dans l'eau, et mis du plâtre sur les côtés de leur épaisseur qui devaient se joindre aux autres. La voûte se commençait en même temps par les deux naissances opposées, afin de charger également le cintre; et lorsqu'on était parvenu au milieu, si l'espace que devait occuper la clef était plus large ou plus étroit que les briques, on les taillait en conséquence, de manière à pouvoir être posées sur leur largeur ou sur leur longueur.

Les ouvriers ont pour cet usage une hachette, ou marteau portant

d'un côté un taillant; l'autre côté leur sert à donner un ou deux petits coups pour mieux faire joindre les briques en les mettant en place. Il y a des ouvriers qui ne font que les mouvoir en les poussant sur leurs joints d'épaisseur; car ce n'est qu'en ce sens qu'il faut les frapper ou les pousser, et jamais sur le plat des briques.

On n'a garni les reins de ces voûtes qu'après qu'elles ont été entièrement finies, avec de petits moellons maçonnés en plâtre, et arasés à la hauteur du dessus de la clef. Pour les petites voûtes, au lieu de garnir les reins en plein, on a formé de petits murs d'éperon en briques posées de plat, espacés d'environ un mètre. La plupart de ces petites voûtes n'ont de hauteur de cintre que le douzième de leur largeur; elles sont terminées, à l'intérieur, par un enduit de 8 à 9 lignes d'épaisseur, avec une corniche prise aux dépens du cintre de la voûte, afin de la faire paraître plus plate; on a même affecté de faire ces corniches avec de très-grandes gorges, pour leur donner plus d'élévation, et effacer le pli que les voûtes forment avec les murs, lorsque leur cintre est d'un seul arc de cercle.

Nous observerons que les cintres mobiles ne sont pas d'un aussi grand avantage pour cette manière d'opérer que pour celle employée aux voûtes du Bureau de la Guerre, parce qu'il est plus difficile de bien faire les raccordemens chaque fois qu'on avance le cintre, à cause des harpes qu'on est obligé de laisser pour former liaison.

D'ailleurs, ces travées de voûtes, faites séparément, sont sujettes à agir avec des efforts différens, relativement à la poussée du plâtre. De plus, si l'on considère qu'on est toujours obligé de poser des sablières et des étayemens pour soutenir le cintre et le faire couler dans toute l'étendue de la pièce, et que le temps de faire glisser le cintre mobile, de l'ajuster et de faire les raccordemens, peut occasioner une dépense plus considérable que l'économie du cintre, et produire des constructions dont on est moins sûr, on préfèrera de faire un cintre entier pour chaque pièce, comme cela se pratique. On peut encore considérer que les cintres mobiles ne sont praticables que pour les voûtes en berceau, qui sont celles dont on fait le moins d'usage pour les appartemens; on leur préfère les voûtes en arc de cloître, qui se raccordent mieux avec les corniches, et qui poussent beaucoup moins.

Les voûtes plates, en arc de cloître, sont aussi appelées à impériale, à cause de leur ressemblance au dessus des carrosses qui porte ce nom.

Elles s'exécutent comme les précédentes, sur des cintres en planches formés de courbes posées sur des sablières placées de niveau le long de tous les murs. Ces courbes se raccordent avec d'autres courbes disposées selon les diagonales qui répondent aux angles rentrans, ainsi qu'on le voit représenté par les Figures 15, 16 et 17.

Pour faciliter l'exécution de ces sortes de voûtes, on ne couvre les cintres avec des planches qu'à mesure qu'on les construit. Ainsi, après avoir cloué tout autour un premier rang de planches, on pose un ou deux rangs de briques tout autour, avec leur doublage, en opérant comme nous l'avons ci-devant indiqué. Il faut avoir soin de ne recommencer un second rang que lorsque le précédent est entièrement fini.

On pose successivement les planches à mesure qu'on avance. Les ouvriers sont placés sur des échafauds légers, en pente, selon la corde du demi-cintre de la voûte, afin d'être plus à portée d'opérer.

On ne finit de couvrir les cintres avec des planches que lorsque l'espace n'est plus assez grand pour qu'on puisse s'y tenir. Le surplus s'achève par-dessus, en apportant les mêmes précautions pour que les briques soient bien liées et bien garnies de plâtre dans les joints, et dans toutes leurs faces, car toute la solidité de ces espèces de voûtes dépend du plâtre qui les unit : mais cette force, dans les voûtes bien faites, est étonnante. Avant de terminer les voûtes du château de Bisy, on fit tomber sur la première travée, d'environ 4 à 5 pieds de hauteur, une pierre de taille pesant de 4 à 5 milliers qui ne fit que son trou ; le surplus de la voûte resta solide, malgré l'ébranlement.

M. le comte d'Espie, qui a publié, en 1754, un Mémoire sur ces espèces de voûtes, rapporte plusieurs faits et expériences qui tendent encore à prouver leur solidité. Un gentilhomme, en Languedoc, ayant fait construire une de ces voûtes plates sur de vieux murs, il y en eut un qui sortit quelque temps après de son aplomb, et se sépara des autres, en sorte qu'il restait entre ce mur et la voûte une ouverture considérable à sa naissance, de façon qu'elle était en l'air dans toute cette partie, et ne tenait plus que de trois côtés. Les maçons qu'on envoya chercher pour rebâtir le mur, ne voulurent d'abord pas y toucher, mais quand ils virent le lendemain que la voûte était dans le même état, ils s'enhardirent, démolirent le mur, le rebâtirent et le lièrent avec la voûte.

Une autre personne, avant de se déterminer à faire de ces voûtes

plates, fit faire un cadre de bois, composé de pièces qui s'emboîtaient par les bouts, arrêtés avec des vis; on construisit dans ce cadre une voûte en impériale, d'une toise en carré, sur environ un pied d'élévation de cintre. Après qu'elle fut faite, et bien sèche, on démonta le cadre, sans que la voûte se démentît; on la fit aller ensuite sur le plancher de la salle où elle avait été construite, en la poussant d'un bout à l'autre, sans que cela pût l'ébranler; après quoi on la chargea de pierres autant qu'on put en mettre, sans qu'elle éprouvât la moindre altération; enfin, on chercha à la détruire, en l'accablant de pierres que plusieurs personnes y jetèrent dessus à grande force : ces pierres, après plusieurs coups réitérés, firent des trous, mais ne la détruisirent pas entièrement : l'on n'en vint à bout qu'en l'abattant par pièces et morceaux.

Une autre personne ayant fait faire une voûte en impériale, la fit scier dans ses quatre côtés, excepté aux quatre angles. Cette voûte, ainsi isolée des murs, fut chargée d'un poids considérable, sans qu'il en résultât le moindre effet.

Voici l'épreuve que l'auteur dit avoir faite lui-même sur une voûte en impériale, qu'il avait fait construire dans une pièce dont chaque côté avait plus de 4 toises et demie. A peine fut-elle finie, qu'il la fit charger dans le milieu, en faisant arranger dessus 1750 grandes briques, pesant chacune 25 livres, ce qui produisait un poids de 43,750 livres, qu'il laissa dessus pendant deux jours. Une si grande charge fit trembler les ouvriers qui l'avaient faite : ils se plaignirent de ce qu'on mettait leur voûte à une trop grande épreuve, les reins étant encore vides, et ajoutèrent que si l'on faisait remplir les reins, comme ils devaient l'être, on pourrait mettre dessus tel poids qu'on voudrait, et qu'ils ne craignaient rien. On fit décharger cette voûte qui n'avait pas éprouvé la moindre altération.

Il fit percer une autre voûte, nouvellement faite, en sept ou huit endroits différens. Les trous, qui étaient assez près les uns des autres, avaient environ 6 pouces de diamètre; on marcha sur le bord des trous, on chargea la voûte, on frappa dessus, tout cela ne produisit pas le moindre effet.

Enfin, dans une partie de bâtiment de 3 toises de largeur intérieure, sur 4 toises 4 pieds de longueur dans œuvre, dont les murs avaient 2 pieds d'épaisseur et 42 pieds d'élévation, il fit faire trois de ces voû-

tes, l'une sur l'autre, et sur la dernière il fit construire ce qu'il appelle un comble briqueté. Pour donner une idée de la pesanteur de ces combles, représentés par les Figures 18, 19 et 20 de la Planche LXVII, nous allons en faire la description, d'après le petit ouvrage ci-devant cité. Sur la dernière voûte, qui devait porter le comble briqueté, on éleva des cloisons, formant d'un côté la pente du comble, et de l'autre supportant une voûte surbaissée, de 5 pieds de diamètre, et formant un corridor au milieu, sous la pointe du comble, afin de pouvoir y aller en cas de nécessité. L'épaisseur de chacune de ces cloisons fut formée de deux briques, posées de champ, avec une couche de plâtre entre, pour les lier : les briques ont 15 pouces de long sur 10 de large et 2 d'épaisseur. Ces cloisons, qui ont un peu plus de 4 pouces d'épaisseur, sont distantes l'une de l'autre d'un pied; elles sont réunies par le haut, pour former la pente, par deux rangs de briques posées à plat en liaison les unes sur les autres. Comme ces briques ont 15 pouces de long, et que les cloisons ne sont éloignées les unes des autres que de 12 pouces, elles portent d'un pouce et demi sur chaque cloison.

La voûte du milieu est soutenue à sa naissance par un rang de ces briques; elle est formée, comme les grandes voûtes, d'un double rang de briques posées de plat. Sur le double rang de briques, qui forme la pente du comble, sont posées des tuiles creuses en terre cuite, maçonnées en mortier. En ajoutant à ce détail que chaque brique pèse 25 livres, on peut juger de la pesanteur énorme de cette espèce de comble, et de la force de la voûte qui le soutient. Ce qu'il y a de plus étonnant, c'est que, d'après le rapport de l'Académie de Toulouse, on n'a employé à cette construction aucune chaîne ni tirant de fer.

D'après tout ce qui vient d'être dit, le comte de l'Espie se croit autorisé à soutenir qu'il ne faut pas une très-grande épaisseur dans les murs bien construits pour soutenir ces espèces de voûtes, qui n'ont point de poussée, et qui ne forment qu'une seule pièce, plus capable d'entretenir les murs que d'agir pour les renverser; l'expérience lui ayant fait connaître que des cloisons de briques de 4 à 5 pouces résistent à des voûtes de 4 toises de diamètre. Les expériences que nous avons ci-devant citées, sur la force avec laquelle le plâtre peut unir les briques, semblent justifier cette opinion, et je pense comme cet auteur qu'une voûte de ce genre bien faite, qui n'a éprouvé ni rupture ni désunion, ne doit avoir aucune poussée. Mais comme il y a une infinité d'accidens

étrangers à la construction des voûtes qui peuvent en occasioner, surtout dans les voûtes en berceau, il est prudent de ne pas se fier entièrement à la force du plâtre; quelques chaînes de fer convenablement placées peuvent obvier à tous ces accidens. Des voûtes en impériale ou arc de cloître sont moins sujettes à se désunir; il faut même des circonstances extraordinaires pour que ces effets puissent avoir lieu.

Voûtes plates du palais Bourbon. (Planche LXVII.)

Aux voûtes faites dans ce palais, pour éviter les angles rentrans des voûtes en arc de cloître, on a formé des voûtes cintrées sur les quatre côtés, comme des parties de voûtes sphériques; l'arc de cercle qui forme la courbure de ces voûtes a de montée la douzième partie de sa corde ou côté de la pièce.

Ces voûtes sont maçonnées en plâtre de deux manières. La première est avec des carreaux, ou briques carrées de 8 pouces, sur 1 pouce d'épaisseur, posées de plat, en liaison, et doublées comme celles dont nous venons de parler. On les construisait de même sur des cintres formés de courbes en planches, posées de champ, sur lesquelles on clouait des lattes au lieu de planches. Les briques étaient posées en losange; le dessus de l'extrados était fortifié par de petits murs d'éperon, en briques posées de plat, espacés d'environ un mètre. Il y en a qui sont réunis par de petites voûtes pour éviter de charger les reins.

La seconde manière est avec des briques ordinaires, posées de champ, et par rangs parallèles à une des diagonales. Elles sont construites sur des cintres semblables aux précédens, et avec des contre-forts sur leur extrados, distribués et réunis de même, avec des tirans de fer plats, placés à 9 pieds de distance les uns des autres, et arrêtés à l'extérieur des murs par des ancres. Cette seconde manière est préférable à la précédente, et forme des voûtes plus solides. On a eu soin de diriger en sens contraire les rangs de briques des voûtes qui se joignent, afin qu'elles se contre-butent. Au reste, ces voûtes n'ont rien d'extraordinaire, étant entretenues par de fortes chaînes de fer et des murs très-épais.

Les combles représentés par la Figure 21 sont formés avec des briques carrées de 8 pouces sur 1 pouce d'épaisseur, posées à plat et doublées. La voûte intérieure est en plein cintre, avec une partie droite

par le bas, inclinée à peu près selon la pente du brisis des toits à la mansarde. Pour la partie au-dessus, on a formé une partie d'arc gothique, et par-dessus, deux autres parties plates, pour former la pointe du comble, dont l'angle est d'environ 104 degrés. On a laissé dans les évidemens intérieurs les triangles de bois qui ont servi à soutenir les briques pour construire ces parties de voûtes. Les lucarnes sont en briques. Cette disposition vaut beaucoup mieux que celle des combles briquetés, proposés par le comte d'Espie. Le bas est étayé par la partie droite qui forme la pente jusqu'au chêneau, et par les petits murs des joucés des lucarnes; il eût été à propos de ne point laisser de vide dans cette partie, afin de la mettre plus en état de résister à l'effort de la partie supérieure, qui est triple, dans le cas où par un accident quelconque, il se ferait une rupture au-dessus des lucarnes, qui est la partie la plus faible. Au lieu des trois parties qui forment la pointe du comble, il aurait mieux valu ne faire qu'un seul arc gothique depuis la naissance, lié avec la partie droite du bas, afin de lui donner plus de solidité, comme l'indique la Fig. 22 de la même Planche. On observe encore que les briques plates employées à cette construction sont un peu trop minces; elles auraient dû avoir au moins un pouce et demi d'épaisseur.

Voûtes de la Halle au Blé de Paris.

La halle au blé, construite sur l'emplacement de l'ancien hôtel de Soissons, peut être regardée comme un des beaux édifices publics de Paris. Il est remarquable par sa disposition, sa solidité et la manière dont il est construit. Le diamètre extérieur de cet édifice, qui est sur un plan circulaire, est de 68 mètres $\frac{2}{5}$ ou 38 toises, sur 14 mètres $\frac{6}{10}$ ou 7 toises $\frac{1}{2}$ d'épaisseur, avec une cour ronde au milieu, de 39 mètres ou 20 toises de diamètre[1].

[1] Dans le projet de l'auteur, cette cour devait être couverte d'une manière aussi ingénieuse que pittoresque, mais il n'eut pas le bonheur de mettre la dernière main à son ouvrage. On retrouve les dispositions qu'il avait adoptées à cet effet, dans le *Recueil de différens plans et dessins concernant la halle aux grains*, qu'il a publié à Paris, en 1769. Cet ouvrage étant devenu rare aujourd'hui, nous avons cru devoir conserver dans son entier le projet de Le Camus de Mézières, dans la gravure que nous donnons de ce monument, au Livre IXe., comme pouvant servir de modèle en ce genre, et pour rendre un juste hommage à la mémoire de ce savant constructeur.

La construction de ce monument est due à M. le Camus de Mézières, habile architecte qui s'était proposé de le rendre incombustible, en n'y employant point de bois.

Les portiques du rez-de-chaussée, Figure 1, Planche LXVIII, sont formés par un double rang de voûtes d'arêtes, construites en briques et en pierres de taille, dont les retombées du milieu sont soutenues par des piliers ronds ou colonnes. Les murs de face sont percés chacun de vingt-cinq arcades qui se correspondent.

On monte à l'étage supérieur par deux escaliers en pierres de taille disposés fort ingénieusement et exécutés avec une rare perfection.

Cet étage supérieur forme un immense grenier qui occupe tout le bâtiment; sa voûte, qui est très-surhaussée, est aussi construite en briques et en pierres de taille, Fig. 2 et 3. Ce grenier a 10 mètres 36 centimètres de largeur, et 155 mètres 13 centimètres de pourtour, pris au milieu; il est éclairé par cinquante croisées. La voûte est divisée par des arcs doubleaux en pierres de taille, formant chaînes, et extradossés selon la pente du toit, Fig. 3 et 5. Ces arcs doubleaux sont éloignés d'environ 2 mètres $\frac{1}{2}$ les uns des autres : les parties intermédiaires sont en briques de champ; elles ont 24 centimètres (9 pouces) d'épaisseur. La surface du toit entre les arcs doubleaux est formée par une double voûte en briques posées de plat bandée d'un arc à l'autre, Figure 4.

Le dessus de ces parties de voûte a été arasé pour former la surface rampante du comble, laquelle est couverte en tuiles [1].

Des voûtes en poteries creuses. (Planche LXVII.)

Comme les voûtes plates en briques de champ ou de plat n'ont pas toujours réussi, quelques constructeurs, sans en examiner les raisons, ont imaginé de faire des voûtes en poteries, ou briques creuses. Ce moyen, qui présente l'avantage de former des voûtes plus légères, a

[1] En 1782 la cour fut couverte par une coupole composée de courbes en planches posées de champ, d'après le système de Philibert de l'Orme; mais l'accident qui l'a détruite a fait sentir l'insuffisance de ce genre de construction, et son inconvenance par rapport aux autres parties de l'édifice. On peut voir, dans le Mémoire que j'ai publié à cette occasion, le détail des moyens pour exécuter solidement cette coupole et autres grandes voûtes de ce genre, de quatre manières différentes; savoir : en pierres de taille, en briques, en bois et en fer. — In-4°., avec 3 Planches. Paris. 1803.

été adopté avec empressement; on a fait de ces voûtes tout-à-fait plates, qui ne sont soutenues qu'à l'aide de tirans de fer placés en tous sens, qu'on a prodigués dans leur construction. On en a fait aussi de cintrées avec des armatures en fer, au moyen desquelles elles se soutiennent; en sorte que c'est, à l'époque où j'écris, le procédé un fort en usage pour les voûtes et planchers des appartemens où l'on ne veut pas employer du bois.

On a donné à ces briques creuses différentes formes et dimensions; les uns les ont faites à bases carrées, avec des sillons, des renfoncemens et des trous dans les faces, afin que le plâtre s'y attache mieux; il y en a qui sont carrées par le haut, et rondes par le bas; d'autres ont leur base rectangulaire comme de petits moellons. J'en ai vu à base hexagone, pour former le carrelage au-dessus, Fig. 23, 24, 25 et 26. Les côtés, ou diamètres des bases de ces briques, ont depuis 9 jusqu'à 20 centim., et depuis 11 jusqu'à 25 centim. de haut. Au reste, comme presque toujours on les fait faire exprès, chacun leur donne la forme et les dimensions qu'il croit les plus avantageuses, ce qui les rend plus ou moins chères; mais leur moindre prix est toujours au-dessus du prix des briques pleines aussi : n'est-ce pas l'économie qui les fait préférer, mais la certitude de réussir. Les Fig. 27 et 28 indiquent les briques en place, et les Fig. 29, 30, 31, 32 et 33 leur arrangement en plan, tant en dessus qu'en dessous.

Lorsqu'on veut construire avec ces briques des planchers tout-à-fait plats, il vaut mieux faire passer les tirans ou armatures dans leur épaisseur qu'au-dessus; elles doivent être le plus près du dessous qu'il est possible, et en fer plat, posé de champ. La Fig. 24 indique l'entaille faite dans les briques pour faire passer ces tirans. Il ne faut pour leur cintre que quelques solives, étayées en dessous, avec des planches en travers, ou des lattes pour soutenir les rangs de briques à mesure qu'on les pose. On doit apporter à cette opération les mêmes soins et les mêmes précautions que nous avons indiqués pour les briques pleines, c'est-à-dire, les tremper dans l'eau avant de les mettre en place, et bien garnir leurs joints de plâtre ou de mortier (*car on pourrait s'en servir pour les endroits humides*), et les poser en liaison. Les voûtes tout-à-fait plates ont besoin de plus d'épaisseur que celles qui sont cintrées, cette épaisseur ne saurait être moindre de la trentième partie de la largeur, encore faut-il leur donner un peu de raide au milieu, c'est-à-dire

un centième de la largeur, au-dessus de la ligne de niveau. On ne conseille pas d'en faire usage pour des pièces dont la largeur excède 7 à 8 mètres. Comme les briques creuses ne peuvent pas se tailler ni se couper, il est presque toujours nécessaire de former la clef avec des briques ordinaires, de même que les angles dans les voûtes d'arête ou en arc de cloître. Quant au reste, les voûtes à surfaces courbes en briques creuses peuvent s'exécuter sur des cintres en planches, comme celles en briques plates [1].

OBSERVATION.

Les procédés que nous avons indiqués, p. 280, pour les voutes en moellons, maçonnées en mortier, sont les mêmes pour celles en briques; mais comme leur forme est plus régulière, et qu'elles sont d'un moindre volume que les moellons, les joints du haut n'ont pas besoin d'être garnis. Il faut laisser les voûtes en briques plus long-temps sur les cintres pour éviter le plus grand tassement dont elles sont susceptibles, et qui pourrait causer des désunions quelquefois dangereuses, lorsqu'on ôte les cintres avant que le mortier ait acquis une certaine consistance. Beaucoup de voûtes ayant les formes et les dimensions nécessaires pour subsister solidement, sont tombées pour avoir été décintrées trop tôt; ou sans précautions.

Le plan de l'église de Saint-Vital de Ravenne, qui se trouve sur la Planche LXIX, Fig. 3, offre un édifice octogone bâti dans le sixième siècle, avec une partie en saillie, formant chœur, et des chapelles qui paraissent avoir été construites depuis.

La grande coupole du milieu, qui a 16 mètres $\frac{9}{10}$, ou 52 pieds de diamètre, est formée avec de petits tuyaux au lieu de briques, qui s'emmanchent les uns dans les autres (comme on le voit par les Fig. 6 et 8) formant spirale, au lieu de rangs concentriques. Cette voûte, qui est en plein cintre, a ses reins garnis jusqu'à environ 36 degrés, ou les $\frac{2}{5}$ de sa hauteur, d'une maçonnerie faite avec des poteries ou vases de terre cuite (dont la forme et les dimensions sont indiquées par la Fig. 7), afin d'éviter le poids en la fortifiant. La partie de la voûte qui se détache du mur est formée par le bas, de trois épaisseurs de tuyaux, et de deux par le haut, ainsi qu'on le voit dans la coupe, Fig 4 et 5.

L'usage des poteries pour élégir les massifs de maçonnerie, et principalement les voûtes, ne remonte guère au delà des premiers temps de la décadence de l'art en Italie. La voûte du tombeau de sainte Hélène, mère de l'empereur Constantin, qui se voit à Rome, sur la voie Labicana, était construite de cette manière.

On voit aussi des vases disposés sur deux rangs, dans la cime d'une calotte qui couvrait un édifice antique dont les restes se voient près de *Torre de Schiavi* non loin de Rome, hors la porte Majeure, sur la voie *Prenestina*.

Les théâtres et les amphithéâtres antiques fournissent aussi quelques exemples de ce procédé, pour alléger la construction des voûtes.

CHAPITRE TROISIÈME.

DES VOUTES EN MAÇONNERIE MIXTE.

Les anciens Romains qui, dans les premiers temps, paraissent avoir imité les Thyrréniens dans les divers procédés de l'art de bâtir, construisirent comme eux des voûtes en blocages, espèce de maçonnerie composée, ainsi que nous l'avons déjà dit, de petites pierres informes mêlées avec le mortier. C'est en massivant ce mélange dans des encaissemens, ou sur les cintres recouverts de planches, qu'ils parvenaient à former des murs et des voûtes, pour ainsi dire, d'une seule pièce. On retrouve encore dans le territoire de l'ancienne Étrurie plusieurs ouvrages des inventeurs de ce genre de construction, entre autres la piscine découverte, en 1739, auprès de Volterra, l'ancienne *Volaterræ*, représentée par les Fig. 1 et 2 de la Planche LX, dont il a été fait mention au Livre Ier. On voit aussi au lac d'Albano une voûte exécutée en blocage, en raccord avec des arcs en pierre de taille, qu'on peut regarder comme un des premiers ouvrages des Romains en ce genre

Dans le discours placé en tête de la Section IV du Livre III, nous avons exposé les raisons qui leur ont fait préférer la maçonnerie en blocage, pour les voûtes dont la forme offrait quelque complication. Il y a lieu de croire que c'est lorsqu'ils entreprirent de voûter des espaces plus considérables, qu'ils songèrent à combiner ensemble, comme ils l'avaient fait pour les murs, ce genre de maçonnerie avec la construction en briques. Dans plusieurs de leurs édifices, comme aux Thermes de Caracalla, ils employèrent pour la partie du milieu des grandes voûtes une espèce de lave poreuse, presque aussi légère que la pierre ponce; mais plus ordinairement, ils reliaient la maçonnerie de blocage A, par les chaînes en briques B, représentées de face par la Figure 3, et de profil par la Figure 4, Planche LXVII : c'est ainsi que sont construites les voûtes des Thermes de Dioclétien, du Colisée, du temple de *Minerva Medica*, vulgairement appelé Galluzo [1] représenté par la Fig. 1 de la Planche LXIX.

[1] Les ruines de ce monument, dans lequel plusieurs antiquaires ont cru reconnaître la basilique bâtie par Auguste en l'honneur de ses neveux Caïus et Lucius, et que d'autres ont pris pour un temple d'Hercule, se voient à Rome, auprès de la porte Majeure. L'intérieur forme en plan un polygone de dix côtés, dont le diamètre est de 23 mètres $\frac{67}{100}$, ou 72 pieds 10 pouces entre les faces parallèles opposées. Cet édifice est con

Aux Thermes de Caracalla, et à la ville Adrienne, j'en ai vu qui paraissaient avoir été construites de la manière suivante : sur les cintres recouverts en planches, dont on voit encore l'empreinte sous l'enduit de stuc dont elles sont recouvertes, on a commencé à étendre une forte couche de mortier de plus d'un pouce d'épaisseur; sur cette couche sont posés à plat de grands carreaux ou briques, dont chaque côté est de 2 pieds romains (22 pouces ou 58 centimètres $\frac{1}{2}$) sur 2 onces d'épaisseur (22 lignes ou 50 millimètres), pour les grandes voûtes de 50 à 60 pieds de diam., et d'un pied et demi romain en carré (16 pouces $\frac{1}{2}$ ou 43 centimètres, et 20 lignes ou 45 millimètres) pour celles au-dessous jusqu'à 30 pieds de diamètre. Après avoir recouvert ce premier carrelage de grandes briques, d'une seconde couche de mortier d'environ un pouce d'épaisseur, on en formait un second avec des carreaux plus petits, dont chaque côté est de 8 onces, ou $\frac{2}{3}$ de pied romain en carré, sur 18 lignes d'épaisseur (40 millimètres), disposé de manière que ses joints croisent ceux du premier.

En établissant ce second carrelage, on formait avec les grands carreaux de deux pieds romains en carré des espèces de voussoirs creux, dont le fond était composé de petits carreaux formant une bande égale à la largeur des grands, ainsi qu'on le voit représenté par les Figures 5 et 6, Planche LXVII.

Les grands carreaux indiqués par la lettre C sont posés perpendiculairement à la surface du cintre, et le milieu D rempli de maçonnerie en blocage. Cette disposition avait pour objet d'empêcher que les désunions ou ruptures qui pouvaient se faire dans les voûtes de cette espèce, où l'on employait une grande quantité de mortier, ne se dirigeassent en contre-sens des coupes, lorsque l'impatience de jouir, ou d'autres motifs obligeaient à ôter les cintres, avant que le mortier eût acquis une consistance suffisante pour les éviter. Ces voûtes, qui ont depuis 1 pied et demi jusqu'à 4 pieds d'épaisseur, sont extradossées de niveau, lorsqu'elles forment plancher ou terrasse au-dessus; et à deux pentes dans les proportions d'un fronton, lorsqu'elles servent de toit; alors elles sont couvertes en tuiles romaines posées à bain de mortier. Cette espèce de couverture, qui leur sert encore de liaison, leur pro-

struit comme le Pantheon, en maçonnerie de blocage revêtu en briques. La voûte est aussi en blocage de petits tufs et de pierres légères, avec des chaînes de briques au droit des angles rentrans. Cette voûte est sphérique et non pas en arc de cloître.

cure une durée sans bornes : on en trouve dans les restes des anciens monumens de Rome, qui existent depuis seize à dix-huit siècles, et qui sont encore en bon état.

Les anciens formaient en saillie sur leur cintre toutes les parties qui devaient être renfoncées dans la voûte et jusqu'à l'ébauche des ornemens qui devaient avoir beaucoup de saillie; en sorte que lorsqu'on ôtait le cintre, il ne restait plus à faire que le ravalement en stuc. On a fait usage de ce procédé pour les voûtes de Saint-Pierre de Rome, qui sont construites en briques et en blocage, à l'imitation de celles des anciens.

Lorsque les voûtes en moellons, en briques ou en blocage, ont été faites avec soin, qu'on leur a donné une forme d'épaisseur proportionnée à leur diamètre et à la courbure de leur cintre, et qu'on a donné le temps au mortier de faire corps avec les matériaux, elles ne forment dans la suite qu'une seule pièce, qui n'a aucune poussée contre les murs qui les soutiennent. Comme c'est le moment du décintrement qui est l'instant dangereux, il faut tâcher de favoriser plutôt l'action des parties inférieures qui résistent, que celle des parties supérieures qui causent la poussée. C'est pourquoi on ne devrait jamais décintrer une voûte que ses reins ne fussent garnis jusque vers le milieu. C'est cette partie inférieure qui doit être dégagée la première de dessus le cintre, en allant de bas en haut, afin d'être en état de contrebuter la partie supérieure. Cette opération doit se faire par intervalles, en raison de la grandeur du diamètre de la voûte, et de ce que les mortiers sont plus frais. Pour une grande voûte en moellons ou en briques, de 24 à 30 pieds de diamètre, il faut, dans la bonne saison, environ deux mois pour que le mortier ait acquis assez de consistance pour qu'elle n'éprouve aucun effet au décintrement; il faut encore éviter de faire entrer la clef à coups de masse, ou de la trop forcer avec des coins, parce que cela ébranle la voûte et la fait fléchir vers les reins lorsqu'ils ne sont pas garnis. J'ai vu des ouvriers sans expérience faire rompre, par cette manie, une voûte, et faire écarter les murs avant qu'elle fût ôtée de dessus son cintre.

Les précautions que nous venons d'indiquer doivent être les mêmes pour les voûtes maçonnées en plâtre, à l'exception du cintre, qu'on peut ôter deux ou trois jours après qu'elles ont été achevées; mais il faut se méfier de la poussée du plâtre, qui est bien plus à craindre que celle de la voûte, parce qu'elle agit avec plus de force.

Il est bien nécessaire de connaître la nature du plâtre qu'on emploie, sa force, son degré d'extension, afin d'y avoir égard en ne plaçant les briques ou moellons qui forment clef, qu'après que son effet a eu lieu pour les parties déjà en place.

Dans les voûtes extradossées d'égale épaisseur, qui doivent former plancher au-dessus, lorsqu'on ne remplit pas les reins en maçonnerie, on fait des petits murs d'éperon, espacés entre eux du tiers de la largeur de la voûte : leur épaisseur doit être la dixième partie de leur intervalle, Figure 7.

Si la voûte est en arc de cloître, il en faudra placer un au milieu de chaque face, et deux autres dont les angles forment équerre, comme on le voit par la Figure 9.

Lorsque le plan d'une voûte d'arc de cloître est plus long que large, on distribue les contre-forts sur les grandes faces, de manière que leur espacement soit le tiers de la largeur, comme dans les voûtes en berceau.

Les voûtes d'arête extradossées de niveau ont besoin d'avoir leurs reins tout-à-fait remplis de maçonnerie, Figure 8.

Dans les voûtes sphériques ou sphéroïdes, il faut que les éperons tendent au centre. Les espaces entre les contre-forts seront remplis de gravois secs, recouverts d'une aire en plâtre ou en mortier pour recevoir le carrelage.

Il y a des constructeurs qui, au lieu d'éperons, forment de fausses lunettes au-dessus de l'extrados, dont le diamètre est moitié de celui de la grande voûte. Ce moyen, représenté par la Figure 10, est fort bon, surtout pour les voûtes qui ont peu d'épaisseur, telles que les voûtes en briques; il a l'avantage d'éviter une trop grande charge pour remplir les reins de celles qui doivent être extradossées de niveau; mais il est plus dispendieux.

QUATRIÈME SECTION.

COMPOSITION ET APPLICATION DES ENDUITS.

CHAPITRE PREMIER.

DES ENDUITS EN MORTIER.

Les enduits sont des couches de mortier, de ciment, de plâtre ou d'autres matières, que l'on applique sur les murs en maçonnerie, les cloisons, les voûtes et les plafonds, pour former des superficies unies et quelquefois pour les mettre à l'abri de l'humidité et des intempéries de l'air.

ARTICLE PREMIER. — DES ENDUITS ANTIQUES.

Les Grecs et les Romains qui n'avaient pas, comme nous, l'usage des lambris en menuiserie, apportaient le plus grand soin à faire les enduits de l'intérieur de leurs appartemens.

Vitruve, après avoir traité des aires et des pavés, dans le Chapitre Ier du Livre VII, explique dans les chapitres suivans la manière de faire les enduits, les stucs, les ornemens et les peintures dont les anciens décoraient leurs appartemens, les différentes matières qu'on y employait et leur préparation.

En parlant des enduits sur les murs, il dit, au Chapitre III :

Enduits sur les murs.

« Les corniches achevées (*dans les intérieurs*), on s'occupera des » murs, qu'on revêtira d'abord d'un enduit dont on laissera la super- » ficie brute et raboteuse. Cette première couche étant à moitié sèche, » on formera dessus des repères en mortier, dressés à la règle, les uns » dans une direction horizontale, les autres dans le sens vertical, en » sorte qu'ils se croisent et se rencontrent toujours à angles droits : » en procédant ainsi l'apparence des peintures sera plus correcte sur » le dernier enduit. Lorsque ces repères commenceront à sécher,

De trullisatione et tectorio opere.

Coronis explicatis parietes quàm asperrimè trullissentur ; postea autem supra trullissationem subarescentem deformentur directiones arenati, uti longitudines ad regulam et lineam, altitudines ad perpendiculum, anguli ad normam respondentes exigantur : namqui

» on étendra successivement un deuxième, un troisième enduit; car » plus la surface des repères s'élèvera en saillie, plus la totalité de » l'enduit sera solide et durable.

» Après que les murs auront été revêtus d'un enduit composé au » moins de trois couches de mortier de chaux et sable, on établira de » nouveaux repères pour les enduire de mortier de chaux et de marbre » écrasé : ce mélange doit être préparé de telle sorte qu'en le corroyant » il ne s'attache pas à la truelle, et que le fer sorte net en le retirant » du mortier. La première couche de ce mélange commençant à » durcir, on la recouvrira d'une autre composée de même, mais dont » le marbre aura été réduit en poudre d'une moyenne grosseur : lors- » que celle-ci aura été convenablement appliquée, on terminera l'ou- » vrage par une dernière couche du même mortier, mais plus fin » encore.

» Des murs ainsi renforcés de trois couches de mortier de chaux et » sable, et d'autant de mortier de marbre, seront non-seulement à » l'abri de toutes gerçures, mais de toute autre dégradation. D'un autre » côté, les premières couches ayant été bien massivées, et le mortier » de marbre ayant acquis toute sa fermeté, après avoir été frotté on » le verra paraître dans toute sa blancheur; les couleurs qu'on appli- » quera dessus ressortiront alors dans tout leur éclat[1].

sic emendata tectoriorum in picturis erit species. Subarescente, iterùm ac tertio inducatur : ita quo fundatior erit ex arenato directura, eo firmior erit ad vetustatem soliditas tectorii.

Cùm ab arenâ præter trullissationem non minùs tribus coriis fuerit deformatum, tunc è marmore grandi directiones sunt subigendæ, dum ita materies temperetur, uti, cùm subigitur, non hæreat ad rutrum, sed purum ferrum è mortario liberetur. Grandi inducto et inarescente, alterum corium mediocre dirigatur : id cùm subactum fuerit et benè fricatum, subtilius inducatur.

Ita cùm tribus coriis arenæ et item marmoris solidati parietes fuerint, neque rimas neque aliud vitium in se recipere poterunt. Sed et baculorum subactionibus fundatæ soliditates, marmorisque candore firmo levigatæ, coloribus cum politionibus inductis nitidos expriment splendores.

[1] On voit encore dans les ruines des édifices antiques de Rome, tels que les thermes de Caracalla, de Titus, de Dioclétien ; dans celles appelées Ville des Empereurs, la Ville Adrienne et autres, des restes d'enduits où l'on distingue les différentes couches dont parle Vitruve. J'en ai mesuré dont l'épaisseur était de plus de 4 à 5 pouces ; les moindres ont 15 à 18 lignes. Toutes ces couches vont en diminuant d'épaisseur. La première, appliquée sur les paremens en moellons ou en briques, est en mortier grossier ; elle a

» A l'égard des couleurs, il est à propos d'observer que, lorsqu'elles » sont appliquées avec intelligence sur un enduit encore frais, elles ne » s'affaiblissent jamais et conservent éternellement toute leur vivacité » C'est à la privation absolue de toute humidité, que la chaux a subie » dans les fournaises, qu'il faut attribuer cet effet; dans cet état, sa » substance appauvrie et raréfiée, avide de réparer ses pertes, attire à » elle, de tous les corps qu'elle touche, les principes dont elle est dé- » pouillée. Lorsque ce mélange de principes extraits de substances » diverses, de quelque nature qu'elles puissent être, a fait corps avec » elle, et qu'il est entièrement sec, il en résulte un tout tellement ho- » mogène qu'il semble qu'elle ait retrouvé dans chacune d'elles les élé » mens constitutifs de sa première formation; c'est pourquoi de » peintures de ce genre, bien exécutées, n'ont rien à souffrir des ra » vages du temps; elles peuvent être impunément nettoyées, sans » que les couleurs soient enlevées, à moins, toutefois, qu'elles n'aient » pas été faites avec assez de diligence, et sur un enduit déjà sec.

Colores autem udo tectorio cùm diligenter sunt inducti, idcò non remittunt, sed sunt perpetuò permanentes, quòd calx, in fornacibus excocto liquore, et facta raritatibus evanida jejunitate coacta corripit in se quæ res forte (*eam*) contigerunt, mixtionibusque ex aliis potestatibus collatis seminibus seu principiis, unà solidescendo in quibuscumque membris est formata, cùm fit arida, redigitur uti sui generis proprias videatur habere qualitates. Itaque tectoria quæ rectè sunt facta, neque vetustatibus fiunt horrida, neque cùm extergentur, remittunt colores, nisi si parùm diligenter et in arido fuerint inducti.

jusqu'à 3 pouces d'épaisseur. Pour lui donner plus de consistance (ou pour former les repères), on y enfonçait des morceaux de briques à plat, ou des débris de sciage de marbre. La seconde couche n'a ordinairement que la moitié de l'épaisseur de la première; elle est en mortier plus fin. L'épaisseur va toujours en diminuant de moitié jusqu'à celle qui formait la superficie apparente en stuc, qui n'a souvent pas une demi-ligne d'épaisseur. Dans les enduits de 18 lignes d'épaisseur, la première couche n'a pas plus de 9 à 10 lignes d'épaisseur, mais elle est en mortier fin. J'ai observé que, dans les enduits fort épais, les couches se détachent les unes des autres, et surtout la seconde de la première.

J'ai vu, dans les ruines de la Ville des Empereurs, une de ces parties d'enduit à moitié détachée, qui avait plus de 15 pieds de long sur 10 pieds de haut et 16 lignes d'épaisseur. Cette couche, formée d'un mortier de tuileaux écrasés et de pouzzolane rouge de Rome, paraissait avoir été fortement comprimée, et avoir acquis la consistance d'une dalle de pierre dure ou de marbre. J'enfonçai une forte règle méplate, qui me servait à mesurer, dans l'endroit où elle était le plus éloignée du mur, et tout l'enduit tomba et se brisa en grandes parties, dont quelques-unes avaient 4 à 5 pieds de long sur 3 à 4 de largeur. J'en emportai un morceau que je fis dresser, et qui a reçu le poli comme du marbre; il a l'apparence d'un granite foncé. Ce fait confirme ce que Vitruve dit des enduits grecs dont on faisait des tables.

» On peut donc regarder comme certain qu'en observant dans l'ap-
» plication des couleurs la marche que nous avons ci-devant ensei-
» gnée, on obtiendra des peintures dont l'éclat se transmettra d'âge en
» âge sans aucune altération.

» Au reste, il faut bien se garder de croire que la suppression des
» couches intermédiaires ne puisse porter aucun préjudice à la solidité
» des enduits; en effet, réduits à deux couches, savoir, la première et
» la dernière, n'ayant plus assez de consistance, ils se gercent facile-
ment, et le défaut d'épaisseur s'oppose encore à ce qu'ils puissent ja-
» mais prendre un beau poli. C'est ainsi qu'un miroir d'argent, formé
» d'une feuille légère, ne peut jamais réfléchir que des images douteuses
» et sans aucune précision ; tandis que celui qui a l'épaisseur convenable
» pour recevoir le dernier degré du poli, rend aux spectateurs l'image
» des objets avec un éclat merveilleux : de même les peintures appli-
» quées sur des enduits d'une trop faible épaisseur, sont non-seule-
» ment exposées aux gerçures, mais encore elles perdent en peu de
» temps toute leur fraîcheur. Par une conséquence naturelle on verra
» celles établies sur des enduits préparés comme nous l'avons précé-
» demment indiqué, après avoir subi les frottemens réitérés de la po-
» lissure, briller du plus grand éclat, et réfléchir aux yeux des specta-
» teurs les images de tous les objets.

» Les peintres grecs augmentent encore la solidité que procurent
» aux enduits les moyens dont il vient d'être question, en faisant
» massiver sur les murs, par des *manœuvres* armés de battes de bois,
» les diverses couches de mortier de chaux et sable. C'est seulement

Cùm ergò ita in parietibus tectoria facta fuerint, uti supra scriptum est, et firmitatem et splendorem et ad vetustatem permanentem virtutem poterunt habere.

Cùm verò unum corium arenæ et unum minuti marmoris erit inductum, tenuitas ejus minùs valendo faciliter rumpitur, nec splendorem politionibus propter imbecillitatem crassitudinis proprium obtinebit. Quemadmodum enim speculum argenteum tenui lamellâ ductum incertas et sine viribus habet remissiones splendoris, quod autem è solidâ temperaturâ fuerit factum, recipiens in se firmis viribus politionem, fulgentes in aspectu certasque considerantibus imagines reddit : sic tectoria, qui ex tenui sunt ducta materiâ, non modò fiunt rimosa, sed etiam celeriter evanescunt. Quæ autem fundata arenationis et marmoris soliditate sunt crassitudine spissâ, cùm sunt politionibus crebris subacta, non modò fiunt nitentia, sed etiam imagines expressas aspicientibus ex eo opere remittunt.

Græcorum tectores non solùm his rationibus utendo faciunt opera firma, sed etiam mortario collocato, calce et arenâ ibi confusâ, decuria hominum inducta, ligneis vec-

» après que la surface est ainsi préparée dans toute son étendue, qu'ils » poursuivent leurs travaux. Cette préparation leur procure un degré » de dureté tel, qu'on voit souvent trancher des parties d'enduits sur » d'anciens murs pour en faire des tables; d'autres fois on en découpe » des morceaux de forme ronde et carrée, qu'on distribue par com- » partimens au milieu d'enduits neufs, en ayant soin de noyer leur » épaisseur dans le mortier. »

Enduits sur les cloisons.

Les cloisons légères que les Romains faisaient pour diviser les grandes pièces dans les étages supérieurs, étaient composées de montans d'huisserie et de traverses en bois écarris, espacés à une certaine distance. Les intervalles étaient remplis avec des cannes grecques attachées avec des clous comme l'on pose les lattes pour les cloisons de même genre, qui sont encore en usage. Les cloisons antiques étaient recouvertes avec des enduits de mortier et de stuc formés de plusieurs couches plus minces que pour les murs. Vitruve, en parlant de ces cloisons, à la fin du Chapitre VIII du Livre II, dit[1] :

« Combien il eût été à désirer que les cloisons à claire-voie n'eus- » sent jamais été inventées; car l'avantage qu'elles procurent en raison » de leur prompte exécution, et du peu d'espace qu'elles occupent » dans les intérieurs, est trop chèrement acheté au prix des malheurs » qu'elles peuvent occasioner, en faisant naître et propageant l'in- » cendie. L'intérêt, bien entendu, devrait conseiller d'employer, en dé- » pensant un peu plus, la brique au même usage, plutôt que de s'ex- » poser sciemment à de si grands dangers, au milieu d'ouvrages qui » coûtent moins à établir.

» Les cloisons à claire-voie ont en outre l'inconvénient d'occa- » sioner des fissures dans les enduits dont elles sont revêtues, au

tibus pinsant materiam, et ita ad certamen subacta tunc utuntur. Itaque veteribus parietibus nonnulli crustas excidentes pro abacis utuntur; ipsaque tectoria abacorum et speculorum divisionibus circà se prominentes habent expressiones.

[1] Cratitii verò velim quidem ne inventi essent. Quantum enim celeritate et loci laxat mento prosunt, tanto majori et communi sunt calamitati, quod ad incendia uti faces sunt parati. Itaque satiùs esse videtur impensa, testaceorum in sumptu, quàm compendio cratitiorum esse in periculo.

Etiam qui in tectoriis operibus rimas (*in iis*) faciunt arrectariorum et transversario-

» droit des montans et des traverses dont elles sont composées : » au moment où elles sont recouvertes de mortier, son humidité fait » renfler les bois, lorsqu'il vient à sécher les bois se retirent, et, en » se contractant, divisent l'enduit de toutes parts, et lui enlèvent la » force que peut seule lui procurer une parfaite intégrité.

» Mais, parce que, dans beaucoup de cas, on peut se voir contraint » de recourir à ces ouvrages, soit pour aller plus vite, ou par faute » d'autres ressources; soit pour former des divisions sur des planchers, » nous allons indiquer comment l'on doit y procéder : on les élèvera » au-dessus du sol par quelque construction, afin qu'ils soient entiè- » rement isolés du massif du plancher et du pavement, car lors- » qu'ils sont enfoncés dans les aires, le pied pourit promptement; » alors, en s'affaissant, ils se tourmentent et détruisent toute l'appa- » rence des enduits ».

Et à la fin du Chapitre III du Livre VII, il ajoute[1] :

« Pour les enduits à faire sur les cloisons à claire-voie, qu'il est si » difficile de garantir des gerçures, à cause de l'effet qu'éprouvent les » montans et les traverses dont elles sont formées, lors de l'application » du mortier frais et par suite de son dessèchement; voici comment on » pourra parvenir à les préserver de ces accidens. Après avoir préala- » blement imprégné l'ouvrage de mortier, on fixera dessus, en formant » des lignes continues, des roseaux arrêtés par des cloux à têtes *aplaties*; » ce lattis étant ainsi pénétré de l'humidité du mortier, il faudra, s'il a » été disposé horizontalement, le recroiser d'un second dans le sens » vertical; la cloison ainsi préparée on procédera, comme nous l'avons » ci-devant expliqué (*voyez page* 299) pour l'application des couches de

rum dispositione. Cùm enim linuntur, recipientes humorem turgescunt, deinde siccescendo contrahuntur, et ita extenuati disrumpunt tectoriorum soliditatem.

Sed quoniam nonnullos celeritas aut inopia aut impendentis loci disseptio cogit, sic erit faciendum. Solum substruatur altè, ut sint intacti ab rudere et pavimento. Obruti enim in his cùm sunt, vetustate marcidi fiunt; deinde subsidentes proclinantur et disrumpunt speciem tectoriorum.

[1] Sin autem in cratitiis tectoria erunt facienda, quibus necesse est in arrectariis et transversariis rimas fieri ideò, quod luto cùm linuntur necessariò recipiunt humorem; cùm autem arescunt extenuati, in tectoriis faciunt rimas; id ut non fiat, hæc erit ratio. Cùm paries luto inquinatus fuerit, tunc in eo opere cannæ clavis muscariis perpetuæ figantur : deindè iterum luto inducto si priores transversariis ordinibus fixæ sunt, se-

» mortiers de sable et de marbre qui doivent former l'enduit. Les cloi-
» sons ainsi maintenues par un double rang de roseaux, cloués et re-
» croisés les uns sur les autres, n'occasioneront aucune fente ni rup-
» ture quelconque dans les enduits dont elles seront revêtues. »

La difficulté de faire, sur des cloisons, des enduits en mortier qui ne gercent ni ne fendent, vient de ce que le mortier, lorsqu'il n'est pas bien comprimé et lissé avant de faire corps, est sujet à une retraite ou diminution de volume, laquelle, ajoutée à celle des bois pénétrés de l'humide des remplissages, doit nécessairement causer des désunions aux endroits où les bois sont apparens ou couverts d'une superficie d'enduit de moindre épaisseur. Le renflement du plâtre obvie en partie à cet inconvénient, parce qu'il se fait, pour ainsi dire, une compensation avec la diminution qu'éprouve le bois en séchant, et que d'ailleurs le plâtre prend plus vite et s'y attache plus fortement que le mortier ou autre composition où il entre de la chaux. Il n'y a guère que les enduits en plâtre éventé ou noyé qui gercent. Il est certain que Vitruve indique le moyen le plus sûr d'empêcher ces effets, en clouant une double épaisseur de lattes sur les montans et les traverses pour les contenir; il faut de plus avoir soin de comprimer l'enduit à mesure qu'il sèche.

Après avoir parlé des enduits en général sur les murs, les voûtes et cloisons, Vitruve indique, dans le Chapitre IV du Livre VII, les précautions à prendre pour ceux à faire dans les endroits humides, afin qu'ils soient solides et durables, et qu'ils garantissent même ces endroits de l'humidité.

Enduits dans les lieux humides[1].

« Après avoir fait connaître comment les enduits doivent être faits
» dans des lieux secs, je vais enseigner la manière d'établir les mêmes
» ouvrages dans les endroits humides, afin qu'ils soient solides et dura-

cundæ erectis figantur, et ita, uti suprà scriptum est, arenatum et marmor et omne tectorium inducatur. Ita cannarum duplex in parietibus ordinibus transversis fixa perpetuitas nec segmina nec rimam ullam fieri patietur.

De politionibus in humidis locis

[1] Quibus rationibus siccis locis tectoria oporteat fieri, dixi; nunc quemadmodum humidis locis politiones expediantur, ut permanere possint sine vitiis, exponam. Et primum con-

» bles. Dans les salles situées au rez-de-chaussée, on préservera la partie » inférieure des enduits des atteintes de l'humidité en recouvrant les » murs, jusqu'à environ 3 pieds au-dessus du pavé, de couches de ci- » ment de tuileaux pilés, en place de mortier de sable.

» Mais si l'on rencontre un mur chargé d'humidité dans toute sa » hauteur, il faudra en ériger un autre plus léger à quelque distance du » premier, autant que le lieu pourra le permettre; le fond de l'espace » entre ces deux murs formera un canal, qu'on aura soin d'établir plus » bas que le sol de la chambre, et auquel on ménagera des issues à » l'extérieur. De plus, en montant le second mur, il est essentiel de pra- » tiquer plusieurs ventouses ; car, à moins d'ouvrir à l'humidité les » voies nécessaires pour se dissiper, soit par l'écoulement, soit par » l'évaporation, la nouvelle construction ne saurait être plus sèche que » l'ancienne. Ces dispositions achevées, on revêtira le mur de plusieurs » couches de ciment, et l'on terminera l'enduit comme à l'ordinaire.

» S'il arrivait que le local, par son peu d'étendue, ne pût comporter » une construction de ce genre, les dispositions pourraient cependant » être les mêmes à l'égard du canal et de ses issues à l'extérieur : après » l'avoir établi de la manière que nous avons indiquée, on le recou- » vrirait en grandes briques (de deux pieds carrés), posées d'un côté » sur son bord, et de l'autre sur des supports formés de deux petites » briques jointes ensemble, placées à distance pour recevoir les angles » de deux grandes briques, en observant de laisser le long des murs » un vide d'environ un palme de largeur. Sur le bord de ces briques » on érigera, en forme de revêtement, un placage en tuiles à *mame-* » *lons* (*ou à crochets*), posées en liaison les unes sur les autres, et

clavibus, quæ plano pede fuerint, ab imo pavimento altè circiter pedibus tribus pro arenato testa trullissetur, et dirigatur, uti eæ partes tectoriorum ab humore ne vitientur.

Sin autem aliquis paries perpetuos habuerit humores, paulùm ab eo recedatur, et struatur alter tenuis distans ab eo quantùm res patietur, et inter duos parietes canalis ducatur inferior quam libramentum conclavis fuerit, habens nares ad locum patentem. Item cùm altitudinem perstructus fuerit, reliquantur spiramenta : si enim non per nares humor et in imo et in summo habuerit exitus, non minùs in novâ structurâ se dissipabit. His perfectis, paries testa trullissetur et dirigatur, et tunc tectorio poliatur.

Sin autem locus non patietur structuram fieri, canales fiant, et nares exeant ad locum patentem. Deindè tegulæ bipedales ex unâ parte suprà marginem canalis imponantur, ex alterâ parte bessalibus laterculis pilæ substruantur, in quibus duarum tegularum anguli sedere possint; et ita à pariete hæ distent, ut ne plus pateant palmum; deindè

» fixées aux murs par des clous ; ces tuiles devront être enduites de » poix à l'intérieur, afin que l'humidité s'écoule sans pouvoir les péné- » trer. Enfin, on ménagera plusieurs évents, tant dans le haut que » dans le bas des murs, ainsi que nous l'avons conseillé, pour les rai- » sons ci-devant exposées[1].

insuper erectæ mammatæ tegulæ ab imo ad summum parietem figantur, quarum interiores partes curiosiùs picentur, ut ab se respuant liquorem : item in (imo et in) summo supra cameram habeant spiramenta.

[1] Le grand bâtiment adossé aux murs de substruction qui soutiennent le terre-plein du Pœcile à la ville Adrienne, connu sous le nom des Cent Chambres, offre dans son intérieur un exemple remarquable du premier moyen indiqué par Vitruve, pour préserver les appartemens de l'humidité des murs. On peut en prendre une idée sur les Figures qui accompagnent la description que nous en donnons au Livre IX, où ces dispositions sont naturellement classées parmi les murs de terrasse et de revêtement. Les Figures 4, 5, 6, 7, 8 et 9 de la Planche LXX sont faites d'après les indications de Vitruve.

A l'égard du second moyen dont l'auteur conseille l'emploi dans les appartemens de petites dimensions, les variantes que présentent entre eux les divers manuscrits, au sujet de l'épithète donnée aux briques destinées à cet usage, ont fait naître plusieurs commentaires, dont il n'est résulté jusqu'ici aucune explication satisfaisante ; et sans les découvertes faites de nos jours à Pompéia, on serait encore en doute sur l'expression qui rend le mieux la pensée de cet architecte, entre *tegulæ animatæ**, *hamatæ*, ou *mammatæ*. Il paraît, au reste, que cette espèce de brique était plus particulièrement réservée pour les constructions particulières, puisque jusqu'à présent, dans les ruines des monumens antiques, on n'a découvert aucun vestige qui pût servir à décider cette question.

Rusconi, et Perrault d'après lui, s'aidant de la première et de la seconde expressions, ont donnés à ces briques la forme d'un canal dont les bords s'élèvent à angles droits, sur un fond plat. Mais sans parler de la difficulté d'assujettir solidement contre les murs des briques de cette forme, l'assemblage de tuyaux jointifs dont elles auraient couvert les murailles, paraîtrait peu propre à remédier complètement aux inconvéniens dont on voulait se garantir.

En s'arrêtant, avec le plus grand nombre de commentateurs, au sens propre de l'adjectif *hamatæ*, armées de crochets, on conçoit facilement l'idée de petits tenons capables, à la vérité, d'isoler presque entièrement les briques des murs ; cependant il resterait encore à trouver le moyen de les y fixer, ainsi que le réclament la prudence et le sens positif du verbe *figere*, employé ici à dessein par Vitruve.

La troisième leçon, due aux recherches philologiques de M. G. Schneider** présente une expression figurée, dont l'objet paraît être de caractériser d'une manière plus précise la conformation des briques dont il est question. Cette restitution découvre un nouveau sens, auquel plusieurs exemples viennent prêter leur appui.

Vers la fin du siècle dernier on découvrit, dans une habitation sortie presque intacte des fouilles de Pompéia, un modèle de briques qui paraît justifier cette dernière dénomination. Le lieu où elles se trouvent placées fait partie du bâtiment connu sous le nom de la

* *Quasi animæ emittendæ aptæ*, selon l'interprétation forcée de Baldus, adoptée par Danetius.

** Commentarii ad M. Vitruvii Pollionis de Architecturâ libros decem, Lipsiæ, 1807.

» La chambre une fois revêtue de ces tuiles, on commencera par la » blanchir, au moyen d'une couche de chaux détrempée, afin que le » ciment puisse adhérer à la terre cuite; car après avoir reçu le degré » de cuisson convenable dans les fourneaux, l'aridité de la brique est » telle qu'elle ne saurait retenir ni fixer aucun enduit, sans le secours » de la chaux détrempée, qui, en abreuvant les pores, facilite l'agglu- » tination du mortier, et les force ainsi d'adhérer l'un à l'autre. Après

Tum autem calce ex aquâ liquidâ dealbentur, uti trullissationem testaceam non respuant; namque propter jejunitatem quæ est à fornicibus excocta, (trullissationem) non possunt recipere, nec sustinere, nisi calx subjecta utrasque res inter se conglutinet et cogat

Maison de campagne. Ici leur emploi avait pour objet de faciliter la circulation de l'air échauffé entre les doubles parois qu'elles formaient autour de la chambre, disposée pour le service des bains à la manière des anciens *.

Ces briques portent 18 pouces en carré, un peu plus d'un pied et demi antique; leur épaisseur est d'un pouce : les quatre tasseaux, ou *mamelons creux*, placés à deux pouces et demi de chaque angle, s'élèvent à trois pouces au-dessus de leur face intérieure; quatre trous répondent sur l'autre face à ces sommités, et les traversent en imitant leur forme évasée. Voyez Figures 10 et 11 de la Planche LXX.

Bien que ces briques se trouvent employées à un autre office que celui qui leur est assigné par Vitruve, on ne peut méconnaître leur identité. D'ailleurs, aucune des épithètes en question n'a trait à leur destination particulière; elles ne tendent, au contraire, qu'à exprimer leur forme qui les rend propres à plus d'un usage.

Après ce qui vient d'être dit, peut-être pensera-t-on avec nous que l'expression figurée de *tegulæ mammatæ*, restituée par M. G. Schneider, convient parfaitement aux briques de l'étuve ou *Sudatorium* de Pompéia, et qu'elle semble même résulter naturellement de la forme et de l'évidement des appendices dont elles sont garnies. Enfin, pour dernier argument en faveur de cette restitution, nous ferons remarquer comment, au moyen des trous percés dans les quatre mamelons, ces briques pouvaient être fixées aux murs, à l'aide de clous, suivant la recommandation expresse de Vitruve, *tegulæ mammatæ figantur ad parietem.*

L'arrangement de ces briques, pour le cas dont il est question dans Vitruve, représenté sur la même Planche, en plan, en élevation et en profil, Figures 7, 8 et 9, est absolument le même que dans l'étuve de Pompéia; il n'y a de changement que dans les dispositions du plancher.

L'étuve de Pompéia a été gravée dans le Voyage pittoresque de Naples et de Sicile. de l'abbé de Saint-Nom : M. Carlo Fea a copié les mêmes Figures pour les additions qu'il a faites aux observations de Winkelmann sur l'architecture des anciens; mais ce n'est que dans l'ouvrage de M. Mazois que l'on peut prendre une idée exacte de ces détails, trop petits et mal figurés dans les deux autres ouvrages.

Au reste, aucun de ces auteurs n'avait fait le rapprochement entre ces briques, et l'expression, peu comprise jusqu'à ce jour, du texte de Vitruve.

* On a trouvé depuis plusieurs autres exemples de construction du même genre et notamment à Scrofano non loin de la même ville

» qu'on aura étendu les couches préparatoires, en ciment de tuileaux » pilés, au lieu de mortier de sable, on terminera l'ouvrage de la même » manière que nous l'avons expliqué pour les enduits ordinaires. »

Enduits pour les ouvrages de maçonnerie qui doivent contenir de l'eau.

Dans toutes les constructions antiques de ce genre, telles que les citernes, les réservoirs, les bassins, les aquéducs et autres que j'ai visitées et examinées avec la plus grande attention, j'ai remarqué que les enduits qui se sont le mieux conservés étaient fort épais. Ils sont ordinairement composés d'une première couche de mortier de pierraille ou béton de 3 ou 4 pouces d'épaisseur; d'une seconde couche formée de tuileaux écrasés ou de pouzzolane, et quelquefois de ces deux matières mélangées, d'environ 1 pouce d'épaisseur; enfin d'une dernière couche de tuileaux pulvérisés et passés au tamis.

Ces différentes couches étaient posées chacune d'un seul jet, ou sans interruption, afin d'éviter les soudures ou reprises. Elles étaient successivement bien égalisées et battues. On ne posait une nouvelle couche que lorsque la première était bien ressuyée. On prenait surtout un soin particulier de bien lisser la dernière couche, parce qu'on avait remarqué que cette opération rendait la superficie extrêmement dure et impénétrable à l'eau. On avait encore la précaution d'effacer tous les angles rentrans par des arrondissemens de 6 pouces au moins de rayon, comme on le voit dans la piscine de Volterra, représentée par les Figures 1 et 2 de la Planche LX.

Le fond est toujours concave, de manière que la plus grande profondeur est au milieu de l'espace.

Les anciens garnissaient d'enduits même les ouvrages en pierre de taille; en général, ils avaient la précaution de ne les appliquer que sur des constructions bien sèches qui avaient éprouvé tous les effets dont elles étaient susceptibles.

J'ai remarqué dans plusieurs aquéducs antiques des désunions et des effets de tassement qui paraissent avoir eu lieu avant que l'enduit intérieur du canal ait été fait.

On voit que le nivellement n'a été établi que sur la première couche,

coïre. Trullissatione inductâ pro arenato testa dirigatur, et cætera omnia (uti suprà scripta sunt in tectoriorum rationibus) perficiantur.

qui est d'inégale épaisseur, parce qu'elle servait à corriger les défauts occasionés par les inégalités de tassement, et à établir une pente uniforme.

Tout le secret des anciens Romains pour faire de beaux enduits, solides, durables et imperméables à l'eau, ne consiste que dans les précautions que nous avons indiquées. On peut y employer également du bon sable, de la pouzzolane, de la poudre de tuileaux, de marbre et de pierre; de la craie, de la marne, de la terrasse de Hollande, de la cendrée de Tournay, du trass d'Andernach, du plâtre-ciment[1] et autres matières; mais il faut se méfier de celles qui durcissent trop tôt, c'est-à-dire, avant qu'elles aient rejeté l'eau surabondante employée à leur préparation; parce que les mortiers ou cimens qui en proviennent sont sujets à se décomposer dans la suite, en rejetant l'humidité superflue qu'ils contiennent à l'intérieur, et qui souvent n'a été retenue que par le durcissement prématuré de la surface. Les anciens obviaient à cet inconvénient en battant leurs enduits. Cette opération porte tout l'humide à la superficie qui ne sèche qu'après le milieu.

ARTICLE II. — DES ENDUITS MODERNES.

Dans les pays où l'on construit en mortier, les enduits sont formés de deux et quelquefois de trois couches. La première se pose immédiatement sur le parement des murs en moellons ou en briques, après avoir bien nettoyé les joints et arrosé la superficie, pour donner plus de prise au mortier. Cette couche, que l'on appelle *crépi*, se fait avec du mortier de chaux vieille éteinte, bien broyé, un peu plus *gras* que pour la maçonnerie ordinaire, c'est-à-dire qu'on y met plus de chaux. On peut faire ce mortier avec de la chaux nouvellement éteinte, en le préparant long-temps d'avance, comme on le pratique à Lyon. Après avoir éteint la chaux avec précaution, on la broie avec du sable fin pour en faire un mortier moyennement gras, que l'on prépare dix à douze mois d'avance. On en forme des tas considérables que l'on conserve dans des endroits frais ou en le couvrant de sable. Lorsqu'on veut s'en servir, on le rebroie en ajoutant de l'eau. Plus il est ancien et

[1] Voyez ces mots dans la Ire. Section du Livre Ier., Chapitre IIIe., Articles 1, 2 et 3.

plus il est broyé, plus il est propre à faire de beaux enduits qui ne sont pas sujets à se fendre, à gercer ni à se crevasser.

La première couche ou crépi se jette sur le mur avec la truelle; on l'étend en ôtant le superflu avec le tranchant pour le rejeter où il en manque, ce qui produit une surface extrêmement rude.

Lorsque le crépi est bien sec, on applique la seconde couche qu'on appelle enduit. Elle se fait avec un mortier plus *maigre* que le précédent, c'est-à-dire qu'on y ajoute du sable. On étend cette seconde couche avec le dos de la truelle, en l'unissant le plus qu'on peut. Mais comme il reste toujours des ondulations, on les efface avec une plaque, ou instrument de bois d'environ six pouces en carré, dressé d'un côté, et portant sur le dos un petit tasseau cloué pour servir à le tenir. Celui qui se sert de cet instrument qu'on appelle *épervier*, Fig. *f*, Planche LXX, tient d'une main un pinceau, avec lequel il arrose l'enduit à mesure qu'il frotte. Lorsque cet enduit est presque sec, on le blanchit avec du lait de chaux qui s'incorpore avec l'enduit, et ne s'efface jamais.

Lorsqu'on veut avoir un enduit bien lisse et bien beau, on étend sur le second enduit une couche de chaux et de craie, ou blanc d'Espagne, bien broyés ensemble. Lorsque cette couche est étendue également, et bien dressée avec un instrument semblable à celui que nous venons d'indiquer, la surface devient presque aussi belle et aussi brillante que le stuc fait avec la poudre de marbre.

On emploie à Naples, pour la dernière couche des enduits, une espèce de terre ou pouzzolane blanche qui produit le même effet.

On fait des enduits en mortier sur des cloisons de planches de sapin, à claire voie, sur lesquelles on pose des tringles ou lattes de même bois, des cannes ou des roseaux, le long desquels on fait des hachures pour donner plus de prise à la première couche. On en fait aussi sur des pans de bois et des voûtes ou courbes de planches, et même sur des plafonds. Indépendamment du lattis, on plante quelquefois dans les intervalles ou dans les fonds unis des clous à têtes plates et larges à demi enfoncés.

CHAPITRE DEUXIÈME.

DES ENDUITS EN PLATRE.

Ces enduits se font aussi en trois couches, distinguées par les noms de *gobetage*, crépi et enduit.

Lorsqu'il s'agit d'enduire un mur en moellons ou en brique, on commence comme pour les enduits en mortier, par nettoyer la surface et les joints; ensuite après l'avoir bien arrosé et bouché les grands joints avec du plâtre à la main, on gâche du plâtre un peu clair que l'on jette dessus avec un balai; c'est cette opération que l'on appelle *gobeter*.

Lorsque le gobetage est fait, et que le plâtre a pris corps, sur cette première couche on applique le crépi fait avec du plâtre écrasé, passé au panier, et gâché plus serré. Ce plâtre se jette à la main et s'étend avec le côté ou tranchant de la truelle pour rendre la surface plus rude, et afin que l'enduit ou troisième couche s'y attache mieux. Cette dernière couche se fait en plâtre fin passé au *sas* ou tamis de crin; on l'étend le mieux qu'il est possible avec le dos de la truelle; mais comme il reste toujours des inégalités et des ondulations, on se sert pour le dresser et l'aplanir d'une espèce de racloir à manche, représenté par la Fig. *c*, Planche LXX. Son taillant est dentelé d'un côté, et uni de l'autre. Les maçons de Paris appellent cet instrument *truelle brettée*, quoiqu'il n'en ait pas la forme, à cause des dents ou brettures qui sont d'un côté, et parce qu'autrefois, au lieu de cet outil, ils se servaient d'une truelle de fer.

La Figure *a* indique la forme et les proportions des truelles dont on se sert à Paris pour les ouvrages en plâtre; la lame ou partie plate est en cuivre jaune, parce que le plâtre s'y attache moins qu'à une truelle de fer, qu'on l'étend mieux, et qu'elle n'est pas sujette à se rouiller.

Les enduits sur les cloisons, les pans de bois, les plafonds, ou lambris sous les toits se font de même; il n'y a de différence que dans le lattis, qui se fait, ou jointif ou à claire-voie. Dans le premier cas, les lattes se touchent ou sont peu distantes les unes des autres; dans le second, elles sont éloignées de deux, trois et jusqu'à quatre pouces, comme lorsqu'il s'agit de pans de bois, de cloisons ou de planchers hourdés pleins, c'est-à-dire, dont les intervalles sont garnis en maçonnerie de plâtras.

Lorsque les intervalles entre les poteaux ou solives ne sont pas rem-

plis de maçonnerie, et que l'on veut, par raison d'économie, ou pour éviter le poids, les laisser vides, on pose les lattes jointives.

Les lattes dont on fait usage à Paris sont de cœur de chêne refendu: elles ont 4 pieds de long sur environ 2 pouces de large, et 3 ou 4 lignes d'épaisseur; on les arrête avec des clous à têtes plates sur chaque poteau ou solive; il faut avoir soin de les poser en liaison.

Du blanc-en-bourre.

Dans plusieurs endroits de France où le plâtre est rare, on se sert, pour faire les enduits et les plafonds, d'un mélange de terre blanche, de chaux et de bourre. On fait ces enduits en deux couches; la première s'applique sur un lattis fait comme pour les plafonds ou enduits en plâtre; on lui donne 3 ou 4 lignes d'épaisseur. Cette couche est composée de la terre la moins fine, broyée avec de la bourre de tanneur et de la chaux. Lorsque la terre est moyennement grasse, on y met un sixième de chaux et autant de bourre de tanneur. Il faut que la chaux soit éteinte depuis six mois au moins, ou qu'elle ait été broyée à plusieurs fois pour la bien dissoudre.

La seconde couche se fait avec de la chaux, de la craie ou de la terre blanche passée au tamis, broyées avec de la bourre fine de tondeur de draps. Lorsque ces enduits ou plafonds ont été bien faits, on prétend qu'ils sont aussi beaux et plus durables que ceux en plâtre, qu'ils résistent mieux à l'humidité; et que si les plafonds se trouvent sous un toit où il y ait une gouttière, l'eau qui tombe ne fait que son trou. Ils ont encore l'avantage de pouvoir se réparer facilement quand ils sont endommagés.

Le blanc-en-bourre peut se faire avec de la chaux, du sable, de la terre franche, de la terre glaise, de la craie ou de la marne. La craie, le blanc d'Espagne et le blanc de Troyes forment les plus beaux enduits; ils sont plus lisses et plus unis que ceux en plâtre. On traîne avec des calibres des moulures aussi nettes qu'avec le plus beau plâtre.

Dans les endroits où l'on peut se procurer du plâtre, on en mêle avec le blanc-en-bourre pour faire la seconde couche. Quant à moi, je pense que ces ouvrages, qui exigent plus de précautions que ceux en plâtre, sont moins solides, surtout pour les plafonds, et que le plâtre doit être préféré toutes les fois qu'à dépense égale on peut s'en procurer.

CHAPITRE TROISIÈME.

DES STUCS.

ARTICLE PREMIER. — DES STUCS ANTIQUES.

Pour former les enduits de stuc, nommés *opera albaria* et *marmorata*, les anciens Romains se servaient de chaux éteinte depuis long-temps, de craie et de poudre de marbre blanc. Par rapport à la chaux, voici comment s'exprime Vitruve au Chapitre II du Livre VII :

De la préparation de la chaux pour les stucs et les enduits[1].

« Après avoir fait connaître les procédés relatifs aux différens pa-
» vages, nous allons indiquer ceux qui concernent les stucs. Pour bien
» faire ces sortes d'ouvrages, il est essentiel de se pourvoir long-temps
» à l'avance de chaux en pierre de la meilleure qualité, qu'on fera étein-
» dre de suite, afin que, si quelques morceaux n'avaient pas reçu au
» four le degré de cuisson convenable, une macération prolongée
» puisse déterminer leur effervescence, et que l'action corrosive de
» celle qui se trouve en fusion achève ensuite de les dissoudre entiè-
» rement.

» En se servant de chaux nouvellement éteinte, la dissolution tar-
» dive des parties dont la calcination n'est pas parfaite, et que n'a pu
» résoudre la durée de la macération, occasionerait dans la suite des
» petites soufflures dans les enduits, et corromprait l'unité et la beauté
» des stucs.

» Pour reconnaître d'une manière certaine le degré de macération
» convenable dans la chaux, et les autres qualités nécessaires pour ce

[1] *De maceratione calcis ad albaria opera et tectoria perficienda.*

Cùm à pavimentorum curâ discessum fuerit, tunc de albariis operibus est explicandum. Id autem erit rectè, si glebæ calcis optimæ ante multo tempore quàm opus fuerit, macerabuntur ; uti, si qua gleba parùm fuerit in fornace cocta, in maceratione diuturnâ liquore defervere coacta, uno tenore concoquatur.

Namque cùm non penitùs macerata sed recens sumitur, cùm fuerit inducta habens latentes crudos calculos, pustulas emittit, quia calculi in opere, uno tenore cùm (*non*) permacerantur, dissolvunt et dissipant tectorii politiones.

Cùm autem habita erit ratio macerationis, et id curiosiùs opere preparatum erit,

» genre d'ouvrage, on enfoncera comme dans du bois, et à plusieurs » reprises, le fer d'une doloire à même le bassin : si, dans son passage, » on s'aperçoit que l'instrument frappe contre de petites pierres, la » chaux ne sera pas encore parvenue au point d'être employée; le fer » retiré sec et sans aucune empreinte, après une pareille épreuve, donnerait à connaître que la chaux a perdu toute sa force, qu'elle est » éventée ; mais si la doloire sort du bassin recouverte d'une pâte » blanche et onctueuse, alors on peut être assuré que la fusion de la » chaux est complète. »

La nécessité de n'employer, pour les enduits et les stucs, que de la chaux éteinte, bien macérée et parfaitement dissoute, a été reconnue par tous les bons ouvriers; mais il est bon d'observer que la difficulté que la chaux éprouve à se dissoudre dépend autant de la nature de la pierre dont elle est formée, que de ce qu'elle n'a pas le degré de cuisson convenable. Car, en supposant que la calcination soit faite à propos, la chaux de marbre blanc, purement calcaire, se dissoudra mieux et en moins de temps que celle faite avec de la pierre à chaux ordinaire. On peut cependant accélérer la dissolution entière de la chaux, de quelque pierre qu'elle soit faite, en la broyant à plusieurs reprises et par intervalles. Il faut avoir soin, en faisant cette opération, d'écraser ou de retirer les petites parties qui ne sont pas assez cuites. Ce moyen simple procure une chaux qui prend plus vite, et forme, avec les matières avec lesquelles on la broye, un corps plus dur et plus durable.

Les matières pour les enduits ordinaires sont le sable de rivière, ou le sable de fouille un peu aride.

Pour les stucs, ce sont les craies, les marnes, les poudres de pierres, et surtout celle du marbre blanc, qui forment les plus beaux ouvrages en ce genre. Voici, selon Vitruve, Livre VII, Chapitre VI, la manière dont les anciens préparaient la poudre de marbre blanc :

sumatur ascia, et quemadmodum materia dolatur, sic calx in lacu macerata ascietur. Si ad eam offenderint calculi, non erit temperata : cùmque siccum et purum ferrum educetur, indicabit eam evanidam et siticulosam ; cùm verò pinguis fuerit et rectè macerata, circa id férramentum uti glutinum hærens, omni ratione probabit esse temperatam.

De la manière de préparer le marbre pour les enduits [1].

« La nature du marbre n'est pas la même dans tous les pays : celui » dont la texture brillante offre l'apparence d'une cristallisation saline, » est sans contredit le plus avantageux pour les enduits et les stucs; » mais les carrières n'en sont pas communes. C'est pourquoi, là où ces » marbres sont rares, il faudra soigneusement recueillir dans les ate- » liers de marbrerie tous les éclats provenant de la taille de cette ma » tière; on la pulvérisera au moyen de masses de fer, et la poussièr » sera passée dans plusieurs tamis.

» Le résultat de cette trituration est ensuite divisé en trois parties : le » plus gros grain sert, comme nous l'avons dit ci-dessus (*voyez page* 299), » à former avec la chaux la première couche sur les enduits de mortier » de sable; le grain moyen s'emploie pour la seconde couche; enfin, » c'est avec la poussière qu'on termine la superficie de l'enduit. »

La manière de préparer le marbre pour faire les stucs est encore à peu près la même. On reconnaît, ainsi que nous l'avons déjà remarqué, dans les restes d'enduits antiques, les trois couches dont parle Vitruve.

On formait avec le stuc des corniches sur les murs, des ornemens sur les plafonds et les voûtes en maçonnerie, comme on le voit par les ruines du Temple de la Paix, de la Ville des empereurs et de la Ville Adrienne. On en recouvrait aussi des voûtes en bois pratiquées sous les planchers ou la charpente des combles. Vitruve parle de ces voûtes au commencement du Chapitre III du Livre VII, où il s'explique ainsi :

[1] *De marmore quomodo paretur ad tectoria.*

Marmor non eodem genere omnibus regionibus procreatur, sed quibusdam locis glebæ ut salis micas perlucidas habentes nascuntur, quæ contusæ et mollitæ, præstant (tectoriis et coronariis) operibus utilitatem. Quibus autem locis hæ copiæ non sunt, cæmenta marmorea sive assulæ dicuntur, quæ marmorarii ex operibus dejiciunt, pilis ferreis contunduntur cribrisque excernuntur

Eæ autem excretæ tribus generibus seponuntur; et quæ pars grandior fuerit, quemadmodum suprà scriptum est, arenato primum cum calce inducitur, deindè sequens, ac tertio, quæ subtilior fuerit.

De la manière de former des voûtes en stuc dans les appartemens[1].

« Comme on recouvre quelquefois les appartemens en forme de » voûte, nous allons faire connaître les dispositions à l'aide desquelles » on peut obtenir cette apparence. Dans ces sortes d'ouvrages, les so- » lives sont ordinairement espacées d'environ deux pieds les uns des » autres; on y emploie le cyprès de préférence; le sapin ne saurait » convenir, parce qu'il se détruit trop promptement par l'effet de la » carie. Après avoir débité tous les bois, à la demande de l'épure, on » les fixera chacun à leur place au moyen de liernes, fortement arrê- » tées par des boulons à la charpente du plancher ou du comble. On » choisit pour ces liernes un bois qui résiste également à la carie et » aux atteintes de l'humidité : tels sont le buis, le genévrier, l'olivier, » le rouvre, le cyprès et autres de même nature. Le chêne doit être » particulièrement rejeté, parce qu'il se tourmente sans cesse et fait » fendre et gercer la maçonnerie.

» Les solives disposées comme il vient d'être dit, on les revêtira de » cannes grecques écrasées, attachées avec des liens de sparterie, en » ayant soin d'observer la forme du cintre : le dessus sera ensuite re- » couvert d'une couche de mortier de sable, afin d'arrêter l'eau qui » pourrait s'infiltrer par les planchers ou les combles.

» A défaut de cannes grecques, on coupera dans les marais des ro- » seaux ordinaires, dont on formera de petites liasses d'égales dimen- » sions, nouées avec des liens de jonc espacés d'environ deux pieds

[1] *De camerarum dispositione, albario et tectorio opere.*

Cùm ergò camerarum postulabitur ratio, sic erit faciunda. Asseres directi disponantur inter se ne plus spatium habentes pedes binos, et hi maximè cupressini; quod abiegni ab carie et ab vetustate celeriter vitiantur : hique asseres cùm ad formam circinationis fuerint distributi, catenis dispositis ad contignationes sive tecta erunt crebriter clavis ferreis fixi religentur : eæque catenæ ex eâ materiâ comparentur, cui nec caries nec vetustas nec humor possit nocere, id est buxo, junipero, oleâ, robore, cupresso ceterisque similibus præter quercum, quod ea se torquendo rimas faciat quibus inest operibus.

Asseribus dispositis, tum tomice ex sparto Hispanico arundines græcæ tusæ ad eos uti forma postulat religentur : item suprà cameram materies ex calce et arenâ mixtâ subindè inducatur, ut, si quæ stillæ ex contignationibus aut tectis ceciderint, sustineantur.

Sin autem arundinis græcæ copia non erit, de paludibus tenues colligantur, et mataxæ tomicæ ad justam longitudinem unâ crassitudine alligationibus temperentur, dum ne plus

» les uns des autres : étant ainsi préparées, on en couvrira la voûte en » les attachant aux solives au moyen de tresses de sparteries; enfin, » après avoir enlacé de petites tringles de bois entre tous ces cordons, » on étendra l'enduit supérieur comme il est indiqué ci-dessus.

» La réunion de ces divers moyens forme un ensemble parfaitement » solide, sur lequel on procédera comme à l'ordinaire pour l'établis- » sement des stucs, en réglant sur des repères disposés à l'avance les » couches successives de mortier de sable, de marbre ou de craie, dont » ces enduits se composent.

» Le stuc achevé sur les voûtes, on formera les corniches qui » marquent leur naissance : en général, elles offriront peu de masse, » et les détails en seront fins et délicats. En leur donnant une trop » forte dimension, il est difficile de les soutenir, la saillie et le poids » tendant toujours à les détacher des murs. Avant d'employer le mor- » tier qui sert à donner les dernières formes, il faut le broyer de nou- » veau en y ajoutant du plâtre en petite quantité; l'action de ce dernier, » quoique ralentie par l'effet du mélange, contribue néanmoins à accé- » lérer la solidification de l'ouvrage.

» Il est bien essentiel d'observer (*relativement aux voûtes en bois*) » que des ouvrages de ce genre sont peu propres à recevoir les com- » partimens dont les anciens décoraient les voûtes; en effet, le relief » de ces ornemens exige des masses dont le poids, trop faiblement » maintenu pourrait occasioner les accidens les plus funestes [1].

inter duos nodos alligationibus binos pedes distent; et hæ ad asseres (uti suprà scriptum est) tomice religentur, cultellique lignei in eas configantur : cætera omnia uti suprà scriptum est expediantur.

Cameris dispositis et intextis, imum cœlum earum trullissetur, deinde arenâ dirigatur, posteà aut cretâ, aut marmore poliatur.

Cùm cameræ politæ fuerint, sub eas coronæ sunt subjiciendæ; (*eæque*) quàm maximè tenues et subtiles oportere fieri videntur: cùm enim grandes sunt, pondere deducuntur nec possunt se sustinere : in hisque minimè gypsum debet admisceri, sed excreto marmore uno tenore perduci, uti ne præcipiendo non patiatur uno tenore opus inarescere.

Etiamque cavendæ sunt in cameris priscorum dispositiones, quòd earum planitiæ coronarum gravi pondere impendentes sunt periculosæ.

[1] D'après la description que Vitruve donne ici des moyens employés pour faire de fausses voûtes, on a lieu d'être surpris que cet auteur n'ait pas observé que ce genre de construction, dont l'exécution n'était pas sans difficulté, et qui devait être peu solide, ne

ARTICLE II. — DES STUCS MODERNES.

Le stuc est une composition de chaux ou de plâtre, susceptible du poli comme le marbre, dont il a l'apparence.

Les meilleurs et les plus solides sont ceux faits avec de la chaux, comme le pratiquaient les anciens. On trouve, dans les ruines de plusieurs édifices antiques de Rome, des parties de stucs encore bien conservés, quoiqu'exposés depuis dix ou douze siècles à l'humidité et à toutes les intempéries de l'air.

Après avoir rapporté, au commencement de ce chapitre, ce que dit Vitruve à l'occasion de ces stucs, nous allons, pour compléter ce qui peut être relatif à cet objet, expliquer la manière dont ils se font encore actuellement en Italie, où leur usage s'est conservé. Les procédés que nous allons indiquer sont ceux que nous avons vu pratiquer par les plus fameux artistes en ce genre, et surtout par les frères Giocondo et Grato Albertoli, dont le premier était professeur d'ornement à l'Académie des Beaux-Arts de Milan, et l'autre, premier stucateur du grand-duc de Toscane en 1783; l'un et l'autre ont eu la complaisance de faire devant moi toutes ces opérations, et m'ont donné des notes dont j'ai fait usage, ainsi que de celles que j'ai prises moi-même en voyant opérer d'autres artistes qui m'ont aussi fourni des renseigemens.

Stuc pour les ornemens et les moulures d'architecture.

Lorsque les ouvrages en stuc doivent avoir beaucoup de relief, comme des chapiteaux, des trophées, des corniches, on commence par faire l'ébauche, ou l'*ossature*, de la manière suivante. On fiche dans les

compromettait pas moins la sûreté des bâtimens, en cas d'incendie, que les cloisons à claire-voie *dont il aurait voulu pouvoir proscrire l'usage*. Il est vrai qu'il n'est ici question de ces voûtes que pour des habitations particulières, tandis que les Italiens n'ont pas craint d'établir ainsi celles de quelques édifices publics, telles que celle de la loge des Banquiers à Gênes, et celle de la Bibliothèque publique à Naples. (Voyez, pour ces deux exemples, *Les plus beaux édifices de Gênes, par M. Gauthier;* et le *Traité de l'art de la charpente, de Krafft, Paris*, 1819.) Au reste, nous ferons connaître au cinquième Livre la manière de procurer la plus grande solidité aux ouvrages de ce genre.

murs, plafonds, ou voûtes, sur lesquels l'ouvrage doit être exécuté, des clous plus ou moins grands, ou d'autres ferremens, à proportion de la saillie. On prépare ensuite du mortier de chaux et sable fin, bien broyé, comme celui dont on fait la dernière couche des enduits dans les endroits où l'on ne se sert pas de plâtre. Il faut aussi se procurer autant de bon plâtre en poudre que de mortier, c'est-à-dire, en raison de l'ouvrage.

Toutes ces choses étant prêtes, on commence par mouiller avec un pinceau l'endroit où l'on a attaché les clous ou ferremens, en faisant attention de les épargner. On gâche ensuite une certaine quantité de plâtre dont on couvre, le plus promptement possible, tous les clous et ferremens, en donnant à l'ouvrage l'ébauche de la forme qu'il doit avoir.

Cette première opération étant faite, on continue, avec du plâtre et mortier mêlés ensemble, de la manière suivante.

On prend une certaine quantité de mortier, qu'on met sur une petite planche ou palette, Fig. *e*, Planche LXX; on en forme une espèce de bassin assez grand pour contenir une quantité de plâtre gâché qui soit double du mortier.

Après avoir rempli d'eau cette espèce de bassin, on y sème du plâtre avec la main, jusqu'à ce qu'il ait absorbé l'eau, et on empâte tout de suite les matières en les broyant ensemble pour les employer le plus promptement possible. On se sert, pour cela, de truelles de différentes grandeurs, ou de spatules, selon que le travail est plus ou moins délicat.

Pour la troisième couche, on diminue la dose de plâtre de manière que, pour la dernière façon de l'ébauche, il ne faut qu'une partie de plâtre sur trois de mortier.

L'ébauche étant finie, tandis qu'elle est encore fraîche, on commence à donner les principales formes et les évidemens qui doivent donner des noirs pour l'effet de l'ouvrage. Enfin, on ôte tout ce que l'on a pu faire de trop en faisant l'ébauche, ce qui est presque inévitable, à cause de la promptitude avec laquelle on est obligé d'opérer : on se sert pour cela de spatules dentées et courbées, et de râpes.

En faisant l'ébauche il faut toujours avoir le compas à la main pour mesurer chaque partie et ne pas mettre de matières plus qu'il n'en faut, ou plus d'un côté que de l'autre, quand les objets sont symétriques. Il faut tenir toutes les mesures faibles de l'épaisseur du stuc.

L'ébauche ainsi préparée, on la laisse sécher jusqu'à ce qu'il ne reste plus d'humidité à l'intérieur : alors on la recouvre de stuc que l'on prépare de la manière suivante.

Manière de préparer le stuc, tant pour les enduits et les corniches, que pour les ornemens.

On prendra de la meilleure chaux en pierre qu'on pourra se procurer; il faut qu'elle soit blanche et bien cuite à propos, ce que l'on connaîtra si, en la frappant, elle rend un son clair. On l'éteindra avec beaucoup de précautions, en la trempant d'abord dans l'eau, avant de la mettre dans le bassin, et ne lui donnant de l'eau que lorsqu'elle commence à fumer. Il faut n'en verser qu'à mesure qu'elle commence à se dissoudre, et avoir soin de la remuer à mesure pour faciliter sa fusion.

Après que cette chaux est éteinte, il y a des stucateurs qui la délayent avec de l'eau pour la faire passer dans un tamis, afin d'en ôter toutes les parties graveleuses; d'autres l'épluchent en la broyant sur une dalle de marbre. Cette seconde manière me paraît préférable, parce qu'elle ne l'affaiblit pas.

La chaux étant ainsi tamisée ou épluchée, on la laisse reposer pendant quatre, cinq mois et quelquefois davantage, parce que plus il y a de temps qu'elle est éteinte, mieux elle vaut pour le stuc, tant pour la dureté qu'elle lui procure, que pour la facilité de le travailler.

La chaux nouvellement éteinte réussit mal, à moins qu'on n'ait la précaution de la rebroyer à plusieurs reprises pour faciliter son entière dissolution. On peut, par ce moyen, accélérer, pour ainsi dire, le moment favorable de la mettre en œuvre.

La meilleure matière qu'on puisse mêler avec la chaux ainsi préparée pour faire un beau stuc, solide et durable, est la poudre provenant des écailles du marbre de Carrare, parce qu'il est le plus blanc et le plus brillant. A son défaut, on peut se servir d'autres marbres blancs. On pourrait encore faire usage de certaines pierres blanches dont le grain est très-fin, comme la pierre de Tonnerre, la craie de Champagne, mais le stuc n'est pas si beau.

Il y a des stucateurs qui ont employé avec succès de la poudre d'albâtre gypseux cru, ou de beau plâtre, tels que celui que les Italiens

appellent *scagliola*, semblable au talc de Paris; mais ce stuc ne résiste pas à l'humidité.

On ne prépare le stuc pour les ornemens que lorsqu'on est prêt à l'employer. Il faut avoir assez d'usage pour prévoir la quantité nécessaire pour couvrir l'ouvrage ébauché. On le formera d'une quantité égale de poudre de marbre et de chaux que l'on broiera bien sans y mettre de l'eau. Lorsqu'au lieu de poudre de marbre on se sert de quelqu'autre, la quantité de chaux peut varier, selon que la poudre est plus ou moins grasse et absorbante. On ne cessera pas de broyer, que le mélange ne soit parfaitement opéré.

Plusieurs stucateurs, et Vitruve même, pensent que le mélange est assez broyé, et que les doses sont en proportion, lorsque la truelle ou quelqu'autre instrument de fer en sort net; mais le coup d'œil exercé d'un habile praticien est beaucoup plus sûr, parce que le stuc ne s'attache au fer que lorsqu'il est gras : il en sortirait toujours net s'il était trop maigre, c'est-à-dire, s'il ne contenait pas la quantité de chaux suffisante.

Pour mettre le stuc en œuvre, on commence par bien mouiller l'ébauche jusqu'à ce qu'elle n'absorbe plus l'eau; alors on détrempe un peu de stuc dans un vase, dont on couvrira avec un pinceau la partie que l'on veut finir. On étendra tout de suite par-dessus, avec une spatule, une couche de stuc dur, et on continuera jusqu'à ce qu'on s'aperçoive que le premier posé commence à sécher. On lui donnera alors la dernière façon, en le polissant avec des ébauchoirs d'acier et des linges mouillés, un peu rudes, enveloppés autour du doigt, comme pour modeler en terre glaise . il faut même quelquefois passer le doigt sans linge; il y a des ouvrages qu'on ne peut finir que par ce moyen, pour leur donner un moelleux que l'ébauchoir ni la spatule ne sauraient leur procurer. Ces instrumens ne sont bons que pour des ouvrages terminés par des lignes continues, comme les enroulemens des volutes des chapiteaux.

On unit les grandes superficies avec des linges mouillés un peu rudes; il faut surtout avoir attention de rendre les arêtes bien nettes et franches, autrement le travail, quoique bon et solide, ne plaît pas.

Pour des ornemens en bas-reliefs dans des encadremens, comme des grotesques, des entrelas, des rinceaux, des lauriers, qui doivent avoir peu de saillie, il est inutile de faire l'ébauche en plâtre et mortier; il

suffit de bien mouiller le fond qui doit être un peu rude, afin que le stuc s'y attache mieux. On étendra dessus une couche de stuc d'environ deux lignes, que l'on unira bien avec le dos de la truelle, afin de le comprimer et de lui donner plus de fermeté; on l'unira ensuite avec un linge mouillé un peu rude, afin d'enlever toutes les traces de la truelle. C'est aussi de cette manière qu'on étend les stucs sur les surfaces lisses des murs et des voûtes.

Le fond étant bien uni, on appliquera dessus le dessin en grand de l'ouvrage, après en avoir piqué les contours, et on le poncera sur place avec du charbon.

Tous les contours étant marqués, on commencera à masser l'ouvrage sur le fond avec du stuc dur, et dans les endroits où il se trouvera de trop grandes saillies, on plantera quelques petits clous à têtes larges, pour leur donner plus de soutien.

Pendant qu'on modèle ce stuc, il faut avoir la précaution de le mouiller de temps en temps pour l'empêcher de durcir trop vite, afin que le tout ne fasse qu'un même corps.

Stuc pour les ouvrages d'architecture.

Pour les ouvrages d'architecture, comme les moulures, les corniches, les colonnes, les pilastres, panneaux, caissons et autres, on prépare les grandes masses en maçonnerie : sur ces grandes masses on fait l'ébauche en plâtre et mortier, comme nous l'avons expliqué. Ensuite on se sert de calibre pour les moulures et les corniches, et même pour les colonnes, à peu près comme pour les ouvrages en plâtre, en observant qu'il faut deux calibres, l'un pour ébaucher, qui doit être plus faible que le second d'environ une ligne, pour laisser la place de la dernière couche de stuc. Ces calibres doivent être garnis d'une lame de fer découpée comme le bois, afin de rendre les moulures plus nettes, plus franches, et les arêtes plus vives.

Il faut, pour les dernières couches, que le stuc soit plus liquide que pour des ornemens, et qu'il soit aussi plus gras. Il doit être composé de deux parties de chaux et une de poudre de marbre.

En 1783 j'ai vu des ouvrages de stuc supérieurement exécutés par les frères Albertoli, à Milan, dans le palais de l'archiduc et dans ceux du prince Belgioso et du comte Grepy; et à Florence, dans le palais Pitti.

Lorsqu'on veut faire des stucs sur des façades extérieures, ou dans des endroits exposés à l'humidité, il faut bien se garder d'y employer du plâtre, parce qu'il n'y résisterait pas.

Dans ces circonstances, si l'on peut se procurer de la pouzzolane il faudra s'en servir pour l'ébauche, et à son défaut de tuileaux pilés : on y pourra mêler quelques terres absorbantes, comme de la craie ou de la chaux en poudre, pour qu'elle fasse corps plus promptement.

Quelques stucateurs font un mélange de six parties de chaux, trois de sable, deux de mâchefer, une de tuileaux pilés et une de tartre de vin : on broie bien le tout à plusieurs reprises, et l'on s'en sert pour l'ébauche des ouvrages exposés à l'humidité ou aux intempéries de l'air.

On couvre cette ébauche avec du stuc préparé, comme nous l'avons dit. Il faut avoir l'attention de ne laisser sur le dessus des parties exposées à l'air aucuns trous ni inégalités, et au contraire de les bien lisser, afin que la pluie ni les neiges n'y puissent pas séjourner. Cette précaution a encore l'avantage de rendre la surface plus dure.

Stuc en plâtre.

On est parvenu à faire, avec le plâtre, une autre espèce de stuc ou marbre factice, qui a le brillant et l'apparence des marbres les plus précieux, par les différentes couleurs qu'on y mêle et le poli qu'on lui donne; mais il n'est pas comparable, pour la durée, au stuc fait avec de la chaux et de la poudre de marbre. Le stuc en plâtre ne peut résister à l'air ni à l'humidité, il ne peut se maintenir qu'à l'intérieur et dans des endroits secs.

Pour faire du beau stuc, il faut choisir le meilleur plâtre et le plus blanc; on le casse par petits morceaux de la grosseur d'un œuf. Il faut que le stucateur le fasse cuire lui-même, parce que la beauté et la dureté du stuc dépendent du degré de cuisson qu'on lui donne. Pour y parvenir, on met tous ces morceaux dans un four très-chaud, comme celui de la Planche VI, ou un four ordinaire dont on bouche exactement l'ouverture. Il faut être attentif à guetter l'instant où ce plâtre aura acquis le degré de cuisson convenable : pour cela, on retirera de temps en temps quelques morceaux pour les rompre, afin de connaître s'il est au point désiré. Si en les rompant on voit qu'ils sont trop remplis de particules brillantes, c'est une preuve qu'il n'est pas assez

calciné; si, au contraire, il est partout d'un blanc mat sans particules brillantes, il est trop calciné : pour qu'il soit au degré convenable, il faut qu'il reste encore quelques particules brillantes au centre; alors on le retire promptement du four.

Pour l'employer, on le pile dans un mortier de fonte, et on le passe dans des tamis de soie très-fin. Pour le gâcher on fait dissoudre dans de l'eau de la colle de Flandre, qui ne doit être ni trop forte ni trop faible; parce que, dans le premier cas, elle éloigne trop les particules du plâtre, et ne forme pas un corps assez dur et compacte pour recevoir un beau poli; et dans le second, elle ne les réunit pas assez : c'est l'usage qui apprend le degré de force qui convient à chaque espèce de plâtre, de gypse, de talc ou de *scagliola*, ainsi que son degré de cuisson; c'est en quoi consiste le prétendu secret de chaque stucateur, auquel chacun peut parvenir par des essais. En général, toutes les substances gélatineuses, après avoir été convenablement modifiées, sont également propres à être employées dans la composition des stucs en plâtre.

Pour imiter les différentes nuances du marbre, on se sert des mêmes couleurs que pour peindre à fresque; on détrempe ces couleurs avec de l'eau et de la colle; on en forme des galettes de différentes couleurs; on prend avec un couteau à palette un peu de chacune de ces couleurs qu'on délaie dans la main avec de l'eau et un peu de plâtre, en les mélangeant s'il est nécessaire, pour avoir la nuance que l'on veut imiter. On introduit ces couleurs dans le plâtre frais, à mesure qu'on l'étend, pour lui donner la forme de l'ouvrage qu'on se propose de faire.

Lorsque le stuc est sec, on commence à le polir avec de la pierre ponce et une espèce de pierre à aiguiser, dont les ouvriers se servent pour donner le fil à leurs outils; on continue avec du tripoli et un morceau de feutre, et on finit par lui donner le lustre avec de l'eau de savon, et enfin de l'huile seule. Cette dernière ternit souvent l'éclat quand on n'a pas la précaution de bien frotter.

Chaque partie de stuc se travaille à part et se monte en place où on les finit; on se sert pour cela de moules, de calibres et autres instrumens en usage pour les ouvrages en plâtre.

On est parvenu à faire avec du stuc des espèces de tableaux incrustés dans des fonds bruns et noirs, représentant des fleurs, des fruits, des oiseaux, des ornemens, des arabesques, et même des sujets en figures.

J'ai vu des tableaux de ce genre dans les appartemens du palais Pitti à Florence, à Bologne et à Lyon dans l'église de Saint-Nizier, et celle des Picpus de la Guillotière. Ces derniers avaient été faits par un stucateur français nommé Laplante.

Pour exécuter ces ouvrages, on fait un dessin en grand, colorié, dont on pique tous les contours, on l'applique sur le stuc, formant la teinte de fond que l'on veut donner au tableau, avant de le polir; on le ponce en blanc ou en noir, selon la couleur du fond; ensuite on creuse selon les contours pour appliquer les stucs colorés qui conviennent à chaque partie du dessin, comme il a été dit ci-devant pour l'imitation des nuances et accidens des marbres ordinaires.

FIN DU TOME SECOND.

NOTES ADDITIONNELLES,

POUR SERVIR A L'EXPLICATION DE PLUSIEURS PLANCHES,

DONT LES FIGURES N'ONT ÉTÉ QUE MENTIONNÉES DANS LE COURS DE CE VOLUME.

PLANCHE IX.

Figure 1. *Plan et coupe d'un monument désigné par William Gell, sous le nom de* Trésor des Atrides, *dans son itinéraire de l'Argolide.*

Pausanias fait mention de ces constructions souterraines, au Chapitre XVII du Voyage de Corinthe. « La ville de Mycènes, dit M. W. Gell, qui était d'une » étendue considérable, occupait tout le penchant de la colline jusqu'au torrent. » L'entrée du Trésor, située un peu au-dessous du sommet de la montagne, est » placée au fond d'une enceinte formée par deux murailles de 20 pieds 6 pouces » de longueur. Au-dessus de la pierre qui couvre la baie de la porte, on voit une » ouverture triangulaire (ou décharge), ainsi qu'on en observe dans plusieurs » édifices de cette ville; cette ouverture était autrefois fermée, sur le devant, » par une pierre ornée de sculptures.

» La porte a environ 20 pieds de hauteur, sa largeur, par le bas, est de 10, » mais elle est plus étroite sous le linteau; elle est percée dans un mur de 18 pieds » d'épaisseur. Le plafond est formé de deux pierres, dont l'une présente un vo- » lume considérable; sa longueur est de 27 pieds, sa largeur de 16 et sa hau- » teur de 4.

» Ce passage débouche dans une vaste rotonde, de 47 pieds de diamètre sur » environ 50 d'élévation, dont l'aspect présente exactement la forme d'une ruche » à miel. Ce dôme est construit en pierres posées en saillie les unes sur les au- » tres, et sans coupes; le devant des assises étant seul taillé à la demande du » profil du cintre et du décroissement des couronnes horizontales.

» Les parois de l'entrée, ainsi que celles de l'intérieur, sont garnies de clous » de bronze, distribués par compartimens et fortement scellés dans les murs. Ces » clous sont composés d'un mélange de cuivre et d'étain, dans la proportion » de 88 à 12.

» Quoiqu'il manque une pierre au sommet de la voûte, le reste ne paraît nulle- » ment en danger de s'écrouler. On trouve des voûtes construites de la même ma- » nière dans les villes anciennes de la Sicile.

(Cet exemple est cité dans les Notions préliminaires sur l'appareil et la construction des voûtes. Voyez page 97.)

Figure 2. *Galeries pratiquées dans les murailles de la citadelle de Tirynthe.*

« L'enceinte de la citadelle était formée par une muraille de 25 pieds d'épais-
» seur, dont quelques parties subsistent encore; l'on peut facilement en recon-
» naître l'étendue par les traces des fondations devenues apparentes dans le reste
» de son contour.

» A l'angle du sud-est, on avait pratiqué dans l'épaisseur du mur d'enceinte
» deux galeries de 5 pieds de large sur 12 de hauteur, formées par trois divisions
» parallèles construites en pierres d'une grosseur considérable. Les côtés de ces
» galeries se composent de deux assises élevées carrément l'une sur l'autre, et
» deux autres posées en saillie à l'intérieur, et dont les pierres du rang supé-
» rieur se touchent et s'appuient au milieu de l'espace sur la hauteur; les deux
» dernières assises sont taillées en pente, de manière à former au-dessus des ga-
» leries une espèce de voûte triangulaire dont les côtés présentent une inclinaison
» de 45 degrés. L'époque de ces constructions remonte environ à 1400 ans avant
» l'ère vulgaire.» (*Extrait du même ouvrage que l'article précédent.*)

Figure 3. *Galerie à l'intérieur de la grande Pyramide.*
(Voyez IIIe. Section, pages 97 et 98.)

« De l'entrée extérieure du canal horizontal, ou du palier qui le précède,
» on remonte sur le prolongement du second canal dans une galerie longue de
» 124 pieds 8 pouces 5 lignes [1], haute de 25 pieds [2] et large de 6 pieds 5 pou-
» ces 2 lignes [3]. De chaque côté sont des banquettes hautes de 1 pied 9 pou-
» ces 1 ligne [4] chacune, et larges de 18 pouces 6 lignes [5]. Le plain-pied, entre les
» banquettes, est de même largeur que les trois autres galeries (3 pieds 5 pouc. [6]),
» et a le même degré de pente que la seconde (27 degrés). Chacune des ban-
» quettes porte dans sa longueur 28 trous placés à des distances égales et qui
» ont un pied de long [7], 6 pouces de large [8] et 7 à 8 pouces de profondeur
» verticale [9]

» Les murs latéraux de cette galerie, formés de huit assises en encorbellement,
» forment une espèce de voûte terminée par un plafond de la largeur du plain-
» pied, entre les deux banquettes. Les pierres qui les composent sont de la
» même espèce que celles des galeries précédentes. (Pierres calcaires, tirées des
» carrières de Gebel-Torrah) » *Extrait des Observations sur les pyramides de Giseh, et sur les monumens et les constructions qui les environnent, par M. le colonel Coutelle. Description de l'Égypte*, 3e. *livraison*, 2e. *section.*

[1] 40 mètres, 508 millimètres
[2] 8 mètres, 121 millimètres.
[3] 2 mètres, 091 millimètres
[4] 0 mètre, 571 millimètres.
[5] 0 mètre, 501 millimètres.
[6] 1 mètre, 110 millimètres.
[7] 0 mètre, 325 millimètres.
[8] 0 mètre, 162 millimètres.
[9] 0 mètre, 162 à 216 millimèt.

Figure 4. Entrée de la grande pyramide. (Voyez page 96.)

« L'entrée de la grande pyramide est située à 44 pieds 7 pouces 3 lignes [1] d'élé-
» vation au-dessus de la base et au niveau de la quinzième assise. Après cette
» entrée est un canal étroit, incliné, qui a 3 pieds 5 pouces [2] de haut et de large.
» Les deux premières galeries et la galerie horizontale ont la même dimension;
» le sol, les côtés et le plafond sont construits en larges pierres calcaires, tirées
» des carrières de Gebel-Torrah, parfaitement dressées, unies et appareillées
» avec le plus grand soin.

» Le plafond de l'entrée est recouvert par *deux assises de pierre de même*
» *espèce, placées en décharge.* La pente rapide de ces galeries, le parement par-
» faitement uni de toutes les faces, les rendraient très-difficilement praticables,
» sans les entailles rustiques qui ont été faites sur le sol, de distance en
» distance. » (*Extrait du même ouvrage que l'article précédent.*)

Figure 5. Tombeau pyramidal à l'ouest de la grande pyramide.

Nous plaçons ici cette figure pour faire connaître une sorte d'appareil dont l'Égypte offre de nombreux exemples, et qu'on retrouve dans plusieurs monumens antiques de Grèce et d'Italie. Il est remarquable en ce que les joints montans ne forment point des angles droits avec les plans d'assises.

« Parmi les ruines de l'ancienne Parium (*aujourd'hui Kamaris*) ville de Mysie,
» on remarque celles d'un théâtre, et une grande muraille de cette espèce de con-
» struction à assises horizontales, formées de pierres dont la taille n'est pas rec-
» tangulaire, et qui paraît avoir succédé à la construction cyclopéenne (polygonale).
» Elle remonte peut-être au temps de la première colonie de Parium. » (*Extrait du Voyage pittoresque de la Grèce, de M. le comte de Choiseul Gouffier · tome II*, 3e. *partie.*)

Le même appareil s'observe dans les murs de la ville de Pompéia. (Voyez les Ruines de Pompéï, de M. Mazois, 1re. partie, Planche XII. Les Figures 6 et 7 de la Planche IX sont citées dans les notes, au bas des pages 6 et 7 de ce volume.)

PLANCHE XIV.

Figures 1 et 3. Nouvelle méthode pour l'appareil des massifs et revêtemens en pierre de taille.

La disposition que nous indiquons ici pour les lits des pierres, dans les massifs et revêtemens auxquels on veut procurer le plus grand degré de solidité

[1] 14 mètres, 489 millimètres.

[2] 1 mètre, 110 millimètres.

possible, se trouve observée dans la construction de la principale pyramide du canton de *Dahchour*, aux environs de l'ancienne Memphis.

« Ce qui distingue cette pyramide de toutes les autres, dit M. Jomard, est » l'état de conservation de son revêtement sur la plus grande partie de chaque » face; la sommité a conservé aussi sa forme en pointe aigue; la pierre du revê » tement est lisse et bien taillée. La forme du monument présente, sur le profil, » deux inclinaisons : la partie inférieure est bâtie sous un angle plus ouvert, » et la partie haute est moins inclinée, tellement que la pyramide supérieure et » entière pose sur une pyramide tronquée.

» *Une autre particularité, c'est que les assises du revêtement sont, non pas* » *horizontales, mais perpendiculaires au plan d'inclinaison des faces.* »

PLANCHE XVIII.

Plans, coupes et profil de la colonne Trajane.

Les détails descriptifs de ce monument, consignés au Livre Ier. de cet ouvrage (pages 325 et suivantes), ont été extraits en partie du beau travail que Piranèsi a publié sur ce sujet; toutes les Figures de cette Planche ont été réduites, avec le plus grand soin, d'après celles que le même auteur en a données. Les lignes et les lettres indiquent suffisamment la relation qu'elles ont entre elles; c'est pourquoi nous nous abstiendrons d'entrer dans aucune explication.

Aux deux côtés du plan du fût de la colonne, on a représenté la forme des pièces de métal placées entre les assises et celle des refouillemens où elles sont logées. La partie inférieure de ces solides est cubique; elle porte 3 pouces 5 lignes sur tous les sens; le prisme rectangulaire dont elle est surmontée a 3 pouces 9 lignes de hauteur, sur 18 lignes de base.

PLANCHE XXVIII.

Figures 1, 2 et 3. *Construction de la salle hypostyle du temple, ou palais de Karnak.*

« ..... Si l'on traverse le pylône (*portail au fond de la cour, qui donne entrée* » *à la salle hypostyle*) on se trouve dans le monument le plus extraordinaire de » la magnificence Égyptienne : c'est une vaste salle dont les plafonds sont portés » par 134 colonnes de proportions colossales, où tout signale la somptuosité des anciens rois de l'Égypte.

» C'est en général le propre des grands monumens de produire dans l'âme du » spectateur de vives émotions : une simple description mettra le lecteur à portée » de juger de l'effet que cette vaste salle hypostyle doit produire. C'est un rec- » tangle de 25 toises 4 pieds 5 pouces (un demi-stade égyptien)[1] de long, et de » 51 toises 1 pied 10 pouces de large[2] : ainsi, l'une de ces dimensions est exacte- » ment double de l'autre. L'espace qu'il renferme, et qui est entièrement cou- » vert, a plus de 47 milles pieds carrés[3]. Il faut se figurer que l'une de nos plus » grandes églises, telle que Notre-Dame de Paris, peut s'y placer toute entière. » Les proportions des colonnes employées dans la salle hypostyle ont forcé d'é- » tablir des terrasses à des hauteurs différentes. On peut considérer cette salle » comme partagée en trois portions d'égale longueur, mais de largeurs inégales. » La partie intermédiaire, qui renferme les plus grosses colonnes, forme une » sorte d'avenue entre les deux distributions latérales. Toutes les descriptions, » tous les plans, sont insuffisans pour donner une idée exacte de cette construc- » tion; car, bien que l'on puisse en fixer les mesures, et comparer les colonnes » qui la décorent à celles d'édifices plus connus, il y a toujours des effets qui » tiennent aux localités, et que ni les dessins, ni le discours ne peuvent rendre. » Il faut se représenter une avenue formée de deux rangées de six colonnes, qui » ont chacune 11 pieds de diamètre[4], et plus de 30 pieds 9 pouces de circonfé- » rence[5]. Ce sont, sans contredit, les plus grandes colonnes qui aient jamais été » employées dans l'intérieur des édifices; elles sont égales en grosseur à la colonne » Trajane et à celle qui a été récemment élevée, sur la place Vendôme, à la gloire » des armées françaises et de leur illustre chef; il ne faudrait pas moins de six » hommes pour en embrasser le tour. Ces colonnes ont 65 pieds[6] depuis le sol » jusqu'à la partie supérieure du dé. Le chapiteau seul a 10 pieds[7] de hauteur; » son plus grand diamètre en a 21[8] : ce qui fait un contour de 65 pieds[9], compre- » nant une surface de 786 pieds carrés[10]. Sur les chapiteaux s'élèvent des dés » de 4 pieds 1 pouce 1 ligne de haut[11], qui reçoivent des architraves des- » tinées elles-mêmes à porter les pierres du plafond. Ce sont les plus grandes » de toutes celles que nous ayons trouvées employées dans les constructions » égyptiennes. En effet, la largeur de l'avenue entre les colonnes étant de » 17 pieds 5 pouces[12], et les pierres s'étendant d'un milieu d'une colonne à » l'autre, leur longueur n'a pu être moindre de 28 pieds 4 pouces[13]. Elles » ont 4 pieds d'épaisseur[14] et une largeur variable, mais qui n'est jamais moindre

[1] 50 metres.
[2] 100 mètres.
[3] 5,000 mètres carrés.
[4] 3 mètres, 57 centimètres.
[5] 10 mètres.
[6] 21 mètres.
[7] 3 mètres $\frac{1}{7}$.
[8] 7 mètres.
[9] 21 mètres.
[10] 83 mètres carrés.
[11] 1 mètre $\frac{1}{7}$.
[12] 5 mètres, 50 centimètres.
[13] 9 mètres, 20 centimètres.
[14] 1 metre, 30 centimètres.

» de 8 pieds [1]. Chacune d'elles renferme 904 pieds cubes [2], *et devait peser* » 130,816 livres [3]. Il y en avait dans tout le plafond dix-sept à dix-huit de ces » dimensions : il n'en reste plus maintenant une seule en place; toutes sont tom- » bées, soit qu'elles aient été renversées à dessein, *ou qu'elles se soient rompues* » *sous leur énorme poids*. Leurs débris, dispersés au pied des colonnes, ont, dans » leur chute, plus ou moins brisé les chapiteaux. Les architraves sur lesquelles » étaient établies les pierres du plafond sont encore en place; elles sont formées » de deux blocs posés l'un à côté de l'autre sur les dés dont ils occupent la lar- » geur; ils s'étendent du centre d'une colonne à l'autre; ils ont 23 pieds de » longueur [4] et une épaisseur de 6 pieds [5]. Ces deux blocs contiennent ensemble » 729 pieds cubes [6] et pèsent 108,186 livres [7].

» Les colonnes, qui contiennent chacune plus de 5834 pieds cubes [8], sont con- » struites par assises régulières de 3 pieds 2 pouces de hauteur [9], composées de » quatre pierres.

» Les deux autres parties de la salle hypostyle sont formées d'abord de six ran- » gées de neuf colonnes, et d'une septième rangée qui est contiguë à la grande » avenue, et qui en a sept. L'espace qui reste entre la dernière colonne à l'Est et » le fond de la salle, est occupé par des murs verticaux qui forment les côtés » d'une sorte de vestibule, et dont les faces figurent des pilastres. Les colonnes » ont de hauteur totale, en y comprenant le dé et la base, 40 pieds 4 pouces [10]; » leur diamètre inférieur est de 8 pieds 8 pouces [11], ce qui leur donne une cir- » conférence de 26 pieds [12]. Elles sont construites par assises.

» Les rangées de colonnes contigues à la grande avenue ont leurs chapiteaux » surmontés de dés, sur lesquels s'élève une architrave couronnée d'une corniche; » mais comme la hauteur qui résulte de la réunion de ces différens membres d'ar- » chitecture est loin d'égaler celle des architraves des grandes colonnes, condition » qu'il fallait remplir pour établir le plafond de niveau, on a élevé au-dessus de » la corniche une sorte d'attique composé de montans en pierre dont la largeur est » égale au diamètre supérieur des colonnes, et dont la hauteur arrive à la partie » inférieure des architraves de la grande avenue : ces montans sont eux-mêmes » couronnés de pierres qui portent le plafond. L'attique est décoré, tout autour » et à l'extérieur, d'une corniche. Les espèces de fenêtres formées par les mon- » tans sont remplies par des claire-voies en pierres, dont l'objet est de diminuer » la trop grande lumière qui aurait pénétré par ces ouvertures, en laissant à l'air

1 2 mètres, 60 centimètres.
2 31 mètres cubes.
3 65 mille kilogrammes.
4 7 mètres, 50 centimètres.
5 2 mètres.
6 25 mètres cubes.
7 54 mille kilogrammes.
8 200 mètres cubes.
9 1 mètre, 10 centimètres.
10 13 mètres.
11 2 mètres, 8 décimètres
12 8 mètres, 40 centimètres.

» un libre passage; condition qu'il est également indispensable de remplir dans » un climat tel que celui de l'Égypte, où la vivacité de la lumière fatigue la vue, » et où l'ardeur du soleil n'est tempérée que par les vents du nord, qui soufflent » régulièrement pendant les six mois les plus chauds de l'année, etc. » (*Extrait de la Description générale de Thèbes, par MM. Devilliers et Jollois, Chapitre IX, VIIIe. Section, État actuel du palais de Karnak.*)

Figures 4, 5 *et* 6. *Plan et coupes sur les deux sens de la chambre royale de la grande pyramide.*

« Cette chambre, ainsi que toute la partie qui est depuis l'entrée du vestibule, » est construite en larges blocs de granit, parfaitement dressés et polis. Voici » ses dimensions :

Hauteur.	18 pieds 5 pouces	0 ligne [1]
Longueur, côté du Nord,	32 pieds 2 pouces	8 lignes [2].
——— côté du Sud,	32 pieds 2 pouces	10 lignes [3].
Largeur, côté de l'Ouest,	16 pieds 1 pouce	5 lignes [4].
——— côté de l'Est,	16 pieds 1 pouce	0 ligne [5].

» Le côté Sud surplombe de 8 lignes [6]; ce qui réduit la largeur du plafond.

» La plus grande dimension de cette chambre est de l'Est à l'Ouest.

» Une ouverture avait été remarquée au haut de la grande galerie, à gauche et » en face, avant d'entrer dans le vestibule; mais on ignorait où elle pouvait con- » duire. Il fallait, pour y pénétrer, séjourner comme nous au pied de ces monu » mens, y faire porter de courtes échelles qui pussent passer par les détours » étroits des galeries, pour les réunir ensuite et en former une de 8 à 9 mètres. » Nos mesures étant prises pour aller faire cette découverte, nous étions à peine » entrés dans un canal haut de 2 pieds 3 pouces [7], et large de 2 pieds [8], qu'une » nuée de chauve-souris se précipita sur nous pour sortir. Nous fûmes forcés de » rester long-temps couchés sur un lit de poussière et d'excrémens de ces animaux, » où nous étions étourdis par le sifflement de leurs pates ailées, et suffoqués par » l'odeur piquante qu'ils laissent dans les lieux qu'ils habitent. Nous fûmes obligés » de nous couvrir le visage pour n'être pas exposés aux atteintes de leurs griffes, » et de cacher nos lumières, dont une cependant fut bientôt éteinte. Enfin, nous » parcourûmes, en rampant, une espace de 25 pieds 5 pouces 9 lignes [9], et nous » arrivâmes dans un vide ou aucune lumière n'avait peut-être pénétré depuis » bien des siècles. »

[1] 5 mètres, 858 millimètres.
[2] 10 mètres, 467 millimètres.
[3] 10 mètres, 472 millimètres.
[4] 5 mètres, 235 millimètres.
[5] 5 mètres, 200 millimètres.
[6] 0 mètre, 018 millimètres.
[7] 0 mètre, 731 millimètres.
[8] 0 mètre, 650 millimètres.
[9] 8 mètre, 385 millimètres.

Vide au-dessus de la chambre sépulcrale.

« Nous étions alors précisément au-dessus de la chambre sépulcrale ; mais le » vide, long et large comme cette chambre, n'est élevé que de 3 pieds 1 pouce [1]. » Les pierres qui forment le plafond, ainsi que les quatre murs de face en granit, » sont seulement dressées sans être polies ; et celles qui forment le plancher, par » conséquent le plafond de la chambre sépulcrale, sont, de ce côté-ci, brutes et » d'une hauteur inégale entre elles, qui varie de 2 à 5 pouces [2]. Ce plancher est » tout entier couvert d'un lit d'excrémens de chauve-souris, parfaitement uni » sur toute sa surface, épais de 5 pouces [3] sur les pierres les plus hautes, et » de 10 pouces [4] sur les plus basses ; de sorte que la couche totale est d'environ » 7 pouces 6 lignes [5] sur tout le plancher, ainsi que dans le canal.

» Il ne peut exister aucune incertitude sur les motifs de la construction de ce » double plafond, qui n'a été exécuté que pour former une décharge semblable à » celle de l'entrée de la pyramide, et afin d'éviter que la chambre sacrée ne fût » brisée par la charge supérieure.

» Cette précaution n'a pas été tout-à-fait inutile : plusieurs pierres de ce se- » cond plafond sont fendues à une petite distance de leur portée, et les blocs » de granit qui les supportent sont écrasés sur les bords par le poids des pierres » posées en décharge sur l'extrémité de ce plafond, et par celui de la masse supé- » rieure. » (*Extrait des Mémoires de M. le colonel Coutelle, déjà cité.*)

Avant de connaître ces dispositions intérieures, dont la découverte est due à MM. Lepère et Coutelle, j'avais toujours pensé que les neuf grandes pièces de granit qui forment le plafond de la chambre royale de la grande pyramide, avaient bien plus pour objet de déterminer à l'œil les proportions de cette chambre, que de soutenir la masse sous laquelle elle se trouve pratiquée.

Je crois devoir rapporter ici l'opinion que j'ai émise à ce sujet, dans la première édition de cet ouvrage.

« D'après la précaution prise pour la chambre inférieure, on peut croire que » ces plafonds ne portent pas la masse au-dessus, qui serait encore plus considérable que celle qui répond à la chambre du bas, mais que le dessus de ce pla- » fond est isolé par un évidement, formé ou par de grandes pierres inclinées » comme la couverture de la chambre inférieure, ou plutôt par une espèce de » pyramide creuse formée par des encorbellemens, comme nous l'avons indiqué » par des lignes ponctuées. » (*Art de Bâtir*, *Tome II*[e], *page* 63. *Paris*, 1804.)

[1] 1 mètre, 002 millimètres.
[2] 0 mètre, 054 à 135 millimètres.
[3] 14 centimètres.
[4] 28 centimètres.
[5] 21 centimètres.

Figures 7, 8 *et* 9. *Plan, soffites et coupe du pronaos du temple de Thésée à Athènes.*

« Le plafond de cet édifice est beau et très-bien conservé; les solives de marbre » que l'on y voit répondent, par leur direction horizontale, à chaque triglyphe, » à quelques petites différences près, qui résultent vraisemblablement de petites » erreurs dans l'exécution. Ce rapport très-remarquable qu'elles ont avec les tri- » glyphes prouve qu'elles tirent leur origine des pièces de bois qui les for- » maient par leurs extrémités : cependant, comme les solives du plafond du » temple de Thésée sont élevées à la hauteur du mutule, on pourrait croire » qu'elles annonceraient plutôt l'origine de cet ornement, si Vitruve ne nous » apprenait pas qu'il fut imité de la saillie des forces du comble; ce qui paraît » d'autant mieux prouvé, que la face de ce mutule, sous laquelle sont les gouttes, » est inclinée au temple de Thésée, et même précisément de l'inclinaison des deux » côtés rampans du fronton. La disposition du plafond des portiques du temple » de Thésée me paraît jeter un nouveau jour sur celle du plafond du vestibule » du temple toscan; les pièces de bois qui formaient ce dernier étaient, selon » moi, disposees comme on a vu que celles de marbre l'étaient dans l'autre.

» Les solives de marbre du plafond du temple de Thésée, dont je viens de » parler, portent des tables percées chacune de quatre trous. Chaque trou des » tables était bouché par-dessus le temple par une petite pièce de marbre carrée, » qui pouvait se lever et se remettre; cette disposition paraît *singulière*, mais » je soupçonne cependant qu elle était usitée et estimée dans la Grèce. »

» Les petites pièces de marbre, taillées en forme de tuile, qui couvraient le » temple de Jupiter, à Olympie, au rapport de Pausanias, et qui furent inventées, » selon le même auteur, par Bisès de Naxi, étaient peut-être semblables à celles » que l'on remarque à la couverture du temple de Thésée. » (*Extrait des Ruines des plus beaux monumens de la Grèce, par D. Le Roy ; seconde partie, pages* 7 *et* 8.)

Figures 10, 11 *et* 12. *Plan, soffites et coupe du tombeau de Mylasa.*

« A un quart de la ville (Melasso) est un édifice de marbre blanc d'une forme » et d'une exécution intéressante. C'est un tombeau à deux étages, dont le rez- » de-chaussée, formant un soubassement, était destiné à renfermer les corps ou » les cendres des morts. Il n'y a aucun escalier pour monter dans la partie supé- » rieure, où il paraît cependant que les parens du mort se rassemblaient quel- » quefois. Une ouverture d'environ 2 pouces de diamètre, qui communique dans » le soubassement, paraît destinée à recevoir les libations qu'ils y répandaient.

« Le soubassement porte huit colonnes et quatre pilastres d'ordre corinthien, » et l'édifice se termine en pyramide.

» Les colonnes de cet édifice sont remarquables par leur forme particulière » et par les corps droits qui semblent unir les deux parties dont elles sont com- » posées. Je pensai d'abord qu'ils avaient pu servir à porter une grille ou une » cloison quelconque qui fermait le monument, mais je cherchai vainement les » places des crampons qui l'auraient soutenue. Il est cependant impossible de » regarder cette disposition comme un pur caprice de l'architecte, et je penche- » rais à croire qu'il a donné cette forme aux colonnes afin d'augmenter leur » force sans altérer leurs rapports, et afin de les mettre en état de soutenir la » masse considérable dont elles étaient chargées. Ce n'est pas la seule fois que » l'on ait hasardé cette irrégularité. M. Le Roy fait mention dans son ouvrage » d'un chapiteau composite trouvé à Rome, et de fragmens qu'il a vus dans l'île de » Délos, qui paraissent appartenir à des colonnes semblables; j'ai moi-même » trouvé dans l'Asie mineure plusieurs tambours du même genre, mais ils étaient » tous d'un fort petit diamètre.

» La figure première donne le dessin du plafond *que la différence de ses plans » et l'opposition de ses formes rendent très-intéressant.* Les soffites sont décorés » de caissons réguliers disposés avec symétrie et enrichis d'ornemens du meilleur » goût et d'une exécution très-recherchée. Sans doute il y en avait aussi dans les » petits triangles qui sont à jour aux quatre angles du plafond; mais n'en ayant » trouvé aucuns vestiges, je n'ai pas cru devoir les y placer d'autorité.» (*Extrait du Voyage pittoresque de la Grèce, par M. le comte de Choiseul-Gouffier, tome* 1er., *pages* 144 *et suivantes.*)

Figures 13, 14 *et* 15. *Plan, soffites et coupe de la tribune de Pandrose, attenant au temple de Minerve Poliade, à Athènes.*

M. David Le Roy ne donne aucun renseignement sur le nombre et la disposition des morceaux dont se compose la couverture de ce précieux monument; MM. Stuart et Revett n'ont pas réparé cette omission dans le travail qu'ils ont publié depuis sur les antiquités d'Athènes. Le silence de ces auteurs à cet égard, la parfaite conservation de toute cette partie, et l'exiguité de ses dimensions, pourraient faire présumer que ce plafond est formé d'une seule pièce; cependant il est plus naturel de croire qu'il est divisé en plusieurs travées, dont les portées pénètrent d'un côté dans le mur du temple de Minerve, et reposent de l'autre sur l'architrave qui couronne les quatre caryatides de la façade.

Figures 18 *et* 19. *Frontispice du temple de la Concorde, à Rome.*

« L'architrave et la frise sont d'une seule assise, et ne font qu'une table toute » unie par le devant, sur laquelle est l'inscription; la face du côté gauche est aussi » toute unie, l'architrave n'étant profilée que du côté droit; la corniche est d'une » autre assise posée à sec et sans mortier sur l'architrave: il est à remarquer que » les lits ne sont pas polis ni même layés, mais piqués fort dru et profond. Au- » dessus de la corniche il y a des arcs en décharge au droit des entre-colonnes » pour soulager la pesanteur du tympan qui est de brique. » (*Extrait de Desgodetz*, *Chapitre IX*, *page* 120.)

On retrouve la même disposition dans plusieurs monumens de l'antiquité, et notamment au portique connu à Milan sous le nom de *Bagni di Nerone*, attenant à l'église de *San Lorenzo*. Il est formé de seize colonnes réunies par des architraves d'une seule pièce, surmontées d'arceaux en brique, servant de décharge et occupant l'espace de la frise. Le milieu de cette colonnade est ouvert par un large entre-colonnement recouvert par un cintre en brique, posant sur les architraves.

PLANCHE LXV.

Figure 1. *Élévation et coupe de la tour de Cæcilia Metella.*

Ce monument a 85 pieds $\frac{1}{2}$ de diamètre, ou 27 mètres $\frac{3}{4}$; il est presque massif; on a seulement pratiqué au centre une espèce de puits conique dont le diamètre par le bas est d'environ 21 pieds ou 7 mètres : le parement de ce puits est en briques.

Cette Figure représente l'intérieur et l'extérieur de l'édifice, en supposant qu'on en a retranché un quart par deux coupures qui se rencontrent au centre à angle droit. On a indiqué par des lignes les différentes couches de maçonnerie battues. A, indique le puits ou vide du centre, qui était terminé par une voûte en coupole, avec un jour dans le milieu; B, indique l'épaisseur de la masse, qui a 32 pieds ou 10 mètres $\frac{1}{2}$; C, D, les pierres de revêtement. »

Figure 2 *et* 4. *Élévation et coupe de la pyramide de Cestius.*

La hauteur de cette pyramide, érigée vers le milieu du règne d'Auguste, est d'environ 113 pieds (36 mètres $\frac{3}{4}$); sa base est un carré dont les côtés sont chacun de 89 pieds 4 pouces (19 mètres); elle est élevée sur un soubassement formé à l'extérieur par deux assises de pierre travertine d'ensemble 2 pieds $\frac{1}{2}$ de hauteur ou 81 centimètres.

Au centre est une chambre sépulcrale voûtée en berceau, A, dont les revêtemens sont en briques, couverts d'enduits, de stucs et de peintures. La grandeur de cette chambre est d'environ 18 pieds de long, sur 11 pieds de large et 13 pieds 4 pouces de hauteur, c'est-à-dire 5 mètres 846 millimètres, sur 3 mètres 57 centimètres et 4 mètres 13 centimètres; le surplus de la masse est en maçonnerie de blocage. Il n'est pas sûr qu'il y ait eu aucun conduit pour parvenir à la chambre sépulcrale. Celui que nous avons indiqué en D a été découvert lorsque le pape Alexandre VII fit restaurer ce monument, mais quelques auteurs prétendent que ce n'est qu'une tentative faite dans les bas siècles. Le conduit horizontal E, par lequel on y entre actuellement, a été percé dans le temps de la restauration en 1663. C'est en le faisant qu'on a découvert que la masse était en maçonnerie de blocage par couches horizontales, battues comme à la tour de Metella.

Une inscription sur la face de l'orient indique que ce grand monument fut achevé en 330 jours par les héritiers de Cestius, nommés Pontius, Mela et Pothus, d'après une des clauses du testament, exprimée ainsi dans l'inscription : *Opus absolutum ex testamento diebus CCCXXX, arbitratu Ponti P. F. Cla. Melæ hæredis et Pothi L.*

Pour donner une idée de la promptitude qu'on a mise à l'exécution de ce monument, nous ajouterons que la base de cette pyramide est plus grande que la superficie entière de l'église du collége des Quatre-Nations, et qu'elle est aussi élevée que la lanterne du dôme. Les faces de cette pyramide sont entièrement revêtues de marbre blanc, la chambre sépulcrale est ornée de stuc et de peintures. On avait érigé à chacun des angles une colonne cannelée, d'ordre dorique, placée sur un piédestal dont la longueur était double de la largeur, afin de placer au devant de chacune de ces colonnes des statues en bronze, qui devaient avoir, d'après les restes qu'on en a découverts, environ 11 pieds de proportion ou 3 mètres $\frac{1}{3}$.

La masse apparente de cette pyramide est de 11,700 mètres cubes, sans y comprendre les fondemens; d'où l'on peut conclure que ce monument considérable, fait en moins de onze mois, a été exécuté avec une célérité dont les constructions modernes n'offrent pas d'exemple.

Figure 5. Profil de la grande pyramide d'Égypte; détails sur la construction de ces monumens.

» Ces monumens, dans leur état actuel, présentent un aspect de dégradation
» qui ne permet pas de croire qu'ils aient été construits tels que nous les voyons :
» la première idée qui se présente, c'est que les gradins ont été couverts par des
» pierres en forme de prisme triangulaire, qui remplissaient le vide de chaque

» degré ; telle était l'opinion d'Hérodote et de la plupart de ceux qui ont écrit » sur ces monumens. Quelques fragmens de granit de forme prismatique » semblable, au pied de la troisième pyramide, semblaient confirmer cette » opinion.

» Mais dès qu'on envisage ce mode de construction, les difficultés qu'il pré- » sente, le peu de solidité qui en serait résulté, enfin l'espèce de corniche que » forme en haut de la seconde pyramide la partie qui n'a pas été enlevée, on » reste convaincu que ces monumens n'ont pas été revêtus de cette manière, et » que le prétendu revêtement n'est que le parement extérieur, pour lequel on a » employé une pierre plus dure, plus égale, plus susceptible de recevoir un » beau poli que celle dont est formée la chaîne libyque sur laquelle ils sont con- » struits, et qui a été employée dans la *maçonnerie intérieure*.

» On reconnaîtra que la dégradation extérieure de ces monumens n'a été opérée » ni par le temps, ni par la main des hommes, avec la seule intention de les dé- » truire ; mais que ces montagnes factices ont présenté des carrières plus faciles à » exploiter et plus voisines des constructions modernes que celles de Gebel- » Torrah et de Syène, d'où les pierres qui ont formé le parement des trois » grandes pyramides ont été tirées, savoir : celles de Gebel-Torrah, pour les » deux premières ; et celles de Syène, pour la troisième.

» Les blocs de granit qu'on trouve au pied de cette dernière, quelques bou- » tisses de même nature, qui restent encore engagées dans la maçonnerie et sont » en saillie sur les gradins, confirment l'opinion d'Hérodote sur l'existence d'un » revêtement en granit, avec cette circonstance qu'il n'a pas été ajouté sur les gra- » dins après la construction, mais que c'était un parement construit en même » temps que la pyramide, ainsi qu'il en est des deux premières. Quant aux mor- » ceaux de granit en prisme triangulaire, leur examen nous a démontré qu'ils » ne sont que des fragmens enlevés des blocs de granit qu'on voulait employer, » et qui sont restés comme peu propres, par leur forme anguleuse, à entrer dans » les constructions. Ces fragmens servent à démontrer également que le parement » extérieur était dressé comme la partie qu'on voit encore au haut de la seconde » pyramide, et que la surface en était polie.

» Quant aux gradins qui existent, ils sont le résultat nécessaire de l'enlèvement » des paremens ; la retraite de l'assise supérieure sur l'assise inférieure est d'en- » viron 9 pouces $\frac{1}{2}$ par pied d'élévation, mesure moyenne, d'après l'inclinaison » que donne la base de 716 pieds 6 pouces [1] sur une hauteur de 424 pieds 10 pou- » ces [2], attendu le nombre des degrés qui est de 203, et eu égard à la plate-forme » supérieure qui a 30 pieds 8 pouces de côté.

» Il est vraisemblable que la superficie entière sur laquelle les pyramides ont

[1] 232 mètres, 747 millimètres

[2] 138 mètres.

» été bâties n'a pas été dressée, mais seulement tout le côté de la montagne qui » regarde le Nil, vers lequel la face du sphinx est tournée, ainsi que l'espace sur » lequel devait être placé le parement extérieur des pyramides, et l'étendue né- » cessaire autour de ces monumens pour le service des ouvriers; mais que le » noyau du rocher, plus élevé en approchant du centre, a seulement été coupé » pour s'ajuster aux pierres du parement.

» Cette supposition n'est pas gratuite, puisque le premier gradin maintenant » apparent à l'angle Nord est coupé dans le rocher : comme il se prolonge sous » les décombres sans laisser apercevoir de joint, on a supposé que les pyramides » avaient été construites avec des pierres d'une énorme proportion, tandis que » toutes celles qui sont apparentes, et celles qui n'ont pas été enlevées du pa- » rement de la seconde, ne sont pas généralement de plus de 7 à 8 pieds de lon- » gueur [1], sur 4 à 6 pieds de longueur [2], et que l'épaisseur des assises varie depuis » 4 pieds 4 pouces [3] jusqu'à 19 pouces $\frac{1}{2}$ [4].

» La hauteur de chaque assise ne décroît pas tout-à-fait dans une proportion » régulière. Quelques-unes, plus hautes, sont interposées entre des assises qui » le sont moins; mais le même niveau et les mêmes lignes parfaitement horizon- » tales règnent sur toutes les faces.

» Les pierres du parement de la seconde pyramide, parfaitement dressées et » unies sur toutes les faces, excepté la partie engagée dans la *maçonnerie inté-* » *rieure*, qui est restée brute, sont posées à *pierre sèche*, et liées entre elles par » de bon ciment. Le même soin n'a pas été apporté pour la construction inté- » rieure : les pierres n'y sont pas d'une hauteur égale sur chaque assise, ni par- » faitement jointes ensemble; *les vides sont remplis de mortier grossier, fait avec* » *de la chaux, des éclats de pierre et des cailloux.* On ne peut pas cependant en » conclure que ces défauts soient une preuve de l'ignorance des constructeurs; de » plus grandes précautions étaient inutiles dans des monumens de forme pyra- » midale, de masse aussi colossale, et sous un climat tel que celui de l'Égypte.

» *Ce qui prouve que rien n'a été négligé pour rendre ces monumens indes-* » *tructibles, c'est qu'il est difficile d'appareiller avec plus d'exactitude, d'établir* » *des lignes plus droites, des joints plus parfaits que ceux que présentent la* » *construction intérieure de la grande pyramide et le parement conservé de la* » *seconde. Dans celle-ci, chaque pierre des quatre arêtes est incrustée dans la* » *suivante. La pierre inférieure est de 2 pouces environ* [5], *reçoit une saillie égale* » *de la pierre supérieure, de manière que chaque arête est liée dans toute sa* » *hauteur; et malgré l'enlèvement du parement dans les quatre cinquièmes au*

1 2 mètres $\frac{1}{4}$ à 2 mètres $\frac{3}{4}$.
2 1 mètre $\frac{1}{2}$ à 2 mètres.
3 1 mètre, 408 millimètres
4 0 mètre, 525 millimètres.
5 54 millimètres.

» *moins de la partie inférieure, la portion qui reste n'a pas souffert le plus léger* » *écart, la moindre dégradation.* »

La masse de la grande pyramide d'Égypte produit un cube évalué, dans le Mémoire de MM. Lepère et Coutelle, dont nous avons extrait les passages qu'on vient de lire, à 2,662,628 mètres cubes, ou 78,669,305 pieds cubes.

Les Figures 3, 4 et 5 représentent l'élévation extérieure de l'église des Quatre-Nations, avec son dôme, celles de la pyramide de Cestius, et de la grande pyramide d'Égypte, dessinées sur la même échelle, pour donner une idée de leur grandeur relative.

PLANCHE LXVI.

Figures 1, 2 *et* 3. *Exposé des effets qui se sont manifestés à la coupole de Saint-Pierre.*

Les causes de ces effets peuvent se réduire à trois principales : 1°. à l'affaissement inégal du sol sur lequel on a établi les fondemens des quatre gros piliers qui supportent cette coupole; 2°. *au mélange des différentes espèces de construction dont on a fait usage pour l'exécution de ce monument;* 3°. à l'effort latéral des grandes *coupoles*, dont le cintre n'est pas assez surhaussé, eu égard au poids énorme de la lanterne, dont elles sont chargées à leur sommet : enfin, les tremblemens de terre, dont les secousses ont mis en mouvement les parties désunies par les causes précédentes, ont contribué beaucoup à augmenter les effets qu'on remarque à cet édifice.

De l'affaissement inégal du sol.

La cause de l'inégalité de l'affaissement du sol a dû être produite par la manière dont Bramante établit les premiers fondemens des gros piliers; au lieu de faire une fouille générale pour reconnaître la nature du sol, il fit sonder chaque pilier séparément. Les deux piliers à gauche en entrant, où sont les statues de Sainte-Véronique et de Saint-André, ont été fondés les premiers en 1506. On prétend qu'ils furent établis sur les fondemens d'un ancien cirque de Néron. Les deux piliers à droite où sont les statues de sainte Hélène et de saint Longin, ne furent établis que l'année suivante sur un fond neuf, c'est-à-dire sur un sol où il n'y avait pas encore eu de fondement. La situation du terrain sur lequel ces fondemens sont établis exigeait des précautions extraordinaires, étant placé entre deux coteaux du mont Vatican; de sorte que toutes les eaux qui en proviennent vont se rendre, par-dessous terre, dans cette espèce de vallon. Ces précautions consistaient à établir, sur le sol bien affermi, un massif général sous les quatre

piliers, en observant un vide circulaire au milieu, et à empêcher les eaux de pénétrer le terrain au-dessous de ces fondemens et de dégrader la maçonnerie, par la raison que lorsqu'un terrain est imbibé d'eau, il est plus susceptible de compression. C'est ce qui est arrivé à la partie de terrain au-dessous des anciens fondemens des murs du cirque, dont Bramante voulut faire usage. Cet effet est prouvé par l'affaissement des piliers de saint André et de sainte Véronique, et par celui du grand arc qu'ils soutiennent, qui se trouvent être plus bas que les autres.

C'est au premier affaissement du sol que l'on peut attribuer, en partie, les désunions et les lézardes qui se manifestèrent aux grands arcs et aux piliers construits du temps de Bramante, indépendamment de la précipitation et du peu de soin avec lequel ils furent bâtis. Après la mort de Bramante, Julien *San-Gallo* et *Fra Giocondo* fortifièrent les fondemens des piliers par de nouveaux massifs de maçonnerie et des arcades qui leur procurèrent toute la solidité qu'on pouvait désirer d'un ouvrage fait après coup. Toutes ces précautions n'ont pas empêché qu'il ne se soit fait de nouveaux tassemens, comme le prouvent les désunions horizontales qui se sont manifestées au-dessus des nouveaux arcs et renforts faits autour des piliers de Bramante. Les architectes qui lui succédèrent, effrayés des accidens qui arrivaient aux ouvrages déjà faits et du fardeau énorme qu'ils devaient soutenir, crurent qu'il était indispensablement nécessaire d'augmenter leurs dimensions, parce qu'ils pensèrent que l'affaissement du sol n'était pas la seule cause de ces accidens : en cela ils avaient raison ; mais ce n'était pas parce que les dimensions étaient trop petites, c'était plutôt parce que Bramante avait négligé de construire, en même temps que les piliers, les parties environnantes et les voûtes qui devaient les contre-butter, ainsi que nous l'avons déjà observé

Il est très-certain que si Bramante eût pris toutes les précautions que nous venons d'indiquer et qu'il eût construit les piliers et les grands arcs en pierre de taille de Tivoli, les dimensions qu'il leur avait données étaient plus que suffisantes pour soutenir la coupole qu'il avait projetée.

Du tassement inégal des constructions.

Il paraît que Michel-Ange et les architectes qui lui succédèrent étaient plus habiles dans l'art de décorer que dans celui de construire, car il n'était pas possible de choisir une plus mauvaise manière de bâtir que celle dont on s'est servi pour le mur du tambour du dôme : c'est un mélange de constructions en briques, en blocages et en pierres de taille, tous matériaux susceptibles d'une compression inégale entre eux. Cette seule différence était capable de produire, sous un fardeau aussi considérable, toutes les lézardes et les désunions que l'on y remarque

La partie en briques et en blocages qui supporte le plus grand poids, étant sujette à un plus grand affaissement que les contre-forts et les revêtemens extérieurs qui sont en pierres de taille, il a fallu qu'il se fît une espèce de déchirement qui les désunît. De là ces ruptures qui détachent les contre-forts de la tour du dôme et les lézardes qui sont de chaque côté des contre-forts. Le corridor circulaire que l'on a mal à propos pratiqué dans le massif du soubassement et du stylobate, a facilité ces déchiremens et ces désunions, de même que les petites portes rondes qui sont dans le bas des contre-forts. Par cette disposition vicieuse, les contre-forts se sont trouvés avoir deux appuis différens; l'un à l'extérieur sur un mur bâti presque tout en pierres de taille, susceptible de peu de compression; l'autre à l'intérieur sur un mur en briques et blocages, beaucoup plus chargé et susceptible d'un très-grand affaissement; d'où il est résulté que ce dernier ayant plus cédé sous le fardeau que l'autre, il s'est fait dans la voûte du corridor une désunion dans toute son étendue, qui se prolonge au-dessus de toutes les portes pratiquées dans le bas des contre-forts.

Tous ces effets n'ont pu se manifester qu'au bout d'un certain espace de temps, parce que l'affaissement inégal qui en est la principale cause n'a pu s'opérer que très-lentement, à cause de la grande résistance opposée par la raideur des parties en pierres de taille, qui n'ont commencé à céder que lorsque l'effort a été considérable.

Il est évident que c'est aux parties les plus faibles que les plus grands efforts ont dû se manifester; aussi voit-on que c'est aux endroits où le mur de la tour du dôme est affaibli par des escaliers, que l'on remarque les plus grandes lézardes. On ne peut s'empêcher de dire que ces escaliers ont été fort mal placés. Ils n'auraient pas dû être dans les massifs au-dessus des piliers du dôme, il aurait mieux valu les mettre dans les massifs qui sont sur le milieu des arcs, parce que c'était là où il importait le plus de diminuer le poids. Enfin, au lieu de les pratiquer dans les points d'appui qui supportent les grandes côtes ou éperons, qui réunissent les deux coupoles, on aurait dû les placer dans les intervalles, afin de pas affaiblir sans nécessité les parties portantes et d'alléger celles qui ne portent rien.

Quant aux désunions qui se voient à la coupole intérieure et aux grandes côtes qui réunissent cette coupole avec l'extérieure, il est certain que leur principale cause doit être attribuée à l'affaissement inégal du mur du tambour. A cette cause il faut joindre la trop grande précipitation avec laquelle cette coupole double fut construite, la nature des matériaux que l'on y employa et la manière dont ils furent mis en œuvre. Le cintre de cette double coupole est trop peu élevé, par rapport au poids considérable de la lanterne qu'elle a à soutenir, ainsi que nous l'avons déjà observé, surtout celui de la coupole intérieure. L'arc de cette voûte depuis se naissance jusqu'à l'ouverture de la lanterne, ne devait pas être de plus

de soixante degrés, comme est celui de la grande coupole de Florence, dont la construction est beaucoup mieux entendue que celle de Saint-Pierre.

A l'article *Théorie des voûtes*, nous ferons voir que le poids de la lanterne d'une coupole ne doit pas être plus grand que celui d'une calotte, dont le diamètre serait égal au double de l'arc qui serait le complément de celui qui forme le cintre de la coupole qui doit porter cette lanterne. Ainsi l'arc de la coupole intérieure de Saint-Pierre de Rome étant d'environ soixante-dix degrés, son complément, par rapport à une demi-voûte en plein cintre, serait de vingt degrés, ce qui formerait une calotte circulaire, dont le diamètre serait de quarante degrés. Or une pareille calotte construite double, comme la coupole, avec ses grandes côtes intermédiaires, pèserait environ deux millions, et la lanterne exécutée en pèse plus de trois. Il ne faut cependant pas croire que ce puisse être cette surcharge d'un million qui ait pu occasioner toutes les lésardes et désunions que l'on remarque à cet édifice, si les tassemens inégaux, dont nous avons parlé, n'avaient pas eu lieu. Mais après que le tambour du dôme et la coupole ont été lézardés, la surcharge de la lanterne venant à agir sur des parties désunies, a dû contribuer à augmenter les effets, surtout lorsquelle a été mise en action par les secousses des différens tremblemens de terre qui ont eu lieu à Rome depuis le commencement de ce siècle.

L'effet du tassement inégal se manifeste par les désunions horizontales que l'on voit à l'intérieur, 1°. au-dessus des grands arcs qui communiquent à la nef du fond et à la nef à droite; 2°. dans la hauteur des pilastres qui décorent l'intérieur de la tour du dôme; 3°. à la partie supérieure des grandes côtes qui unissent les deux coupoles; enfin celles qui sont au milieu de la hauteur des pilastres intérieurs de la lanterne. Toutes ces désunions prouvent, 1°. que le tassement a été plus considérable à l'intérieur qu'à l'extérieur, 2°. que les fondemens des deux premiers piliers établis par Bramante sur ceux des murs de l'ancien cirque de Néron, ont plus baissé que ceux des deux autres piliers; 3°. que c'est le pilier de sainte Véronique qui a le plus baissé. 4°. Ces désunions horizontales indiquent encore que le tassement des constructions intérieures a été retenu en partie par les constructions extérieures et par leur propre consistance, aux endroits où elles forment de très-grandes masses, comme dans la partie inférieure, depuis le dessus des grands arcs jusqu'au-dessous des croisées de la tour du dôme qui forme un cercle continu. Les désunions qui sont dans la hauteur des pilastres indiquent que cette partie a agi plus librement, parce que les croisées qui en interrompent la continuité l'ont empêché de résister par sa propre consistance; de là le déchirement des contre-forts. Il est certain que si le tambour eût été continu, ces effets n'auraient pas été si considérables; ils auraient été même nuls, si, au lieu de surcharger le sommet de la coupole par une lanterne, on l'eût terminé par un grand œil, comme la voûte du Panthéon : l'attique aurait pu opposer une plus grande résistance, s'il n'eût pas été affaibli en quatre endroits par le vide des escaliers pratiqués, mal à propos, au droit des grandes côtes.

Les désunions que l'on voit à la partie supérieure des grandes côtes qui réunissent les deux coupoles, indiquent que la voûte intérieure a plus baissé que l'extérieure, et c'est cette seconde qui porte actuellement presque tout le poids de la lanterne. Les désunions dans l'intérieur de la lanterne sont une suite de cet effet.

C'est à l'extérieur que l'on peut voir combien les vides des escaliers ont été préjudiciables à la solidité de cet édifice. Aux endroits où se sont faites les plus grandes lézardes, elles partagent le mur de la tour du dôme en quatre parties qui se subdivisent en plusieurs autres, parce que c'est au-dessus des grands arcs que se sont opérés les plus grands affaissemens.

Le déchirement qui a dû se faire, pour que le plus grand tassement s'effectuât à l'intérieur, a poussé en dehors les revêtemens et les contre-forts; c'est pourquoi leur sur-plomb est plus considérable qu'à l'intérieur, dont quelques parties penchent en dedans. Le sur-plomb extérieur a suivi l'affaissement des piliers, en sorte qu'au-dessus du pilier de saint Longin, qui a le moins baissé, les contre-forts sont d'aplomb, et que les contre-forts qui ont le plus grand sur-plomb, sont ceux qui sont au-dessus du pilier de sainte Véronique qui à le plus baissé.

Il résulte de tout ce que nous venons de dire, que les premières causes de tous les effets qui se sont manifestés à la coupole de Saint-Pierre de Rome, sont véritablement les affaissemens inégaux, tant du sol que du genre de construction que l'on a adopté. Les secondes, sont la disposition vicieuse du grand corridor circulaire pratiqué dans le soubassement, et des quatre escaliers de la tour du dôme. Les troisièmes, sont la forme du cintre des coupoles et le trop grand poids de la lanterne. Les quatrièmes, sont les tremblemens de terre, les percussions de la foudre et les intempéries de l'air, qui finissent par détruire les édifices les plus solides, et qui agissent avec plus de force sur ceux qui ont déjà quelques défauts.

(*Extrait de l'Encyclopédie Méthodique, Architecture, tome II.* Ces détails font partie du mot *Coupole* que j'ai fait pour cet ouvrage, dont les articles relatifs à la construction m'ont été confiés.)

Figures A, B, C. *Forme et disposition des revêtemens en pierre de taille et en marbre, proposés par Serlio pour les ouvrages en maçonnerie de briques.*

« Après avoir rapporté des exemples aussi nombreux que variés des différentes » décorations auxquelles la pierre peut être employée, il nous reste à faire con- » naître la manière de la mettre en œuvre, principalement dans les constructions » où elle se trouve combinée avec la maçonnerie en briques; car ce genre d'ou- » vrage exige un art et des soins particuliers. Dans l'art de bâtir, la maçonnerie de » briques peut être considérée comme formant, en quelque sorte, la *chair* d'un » édifice, dont l'*ossature* se compose des ouvrages en pierre; et à moins que ces » deux parties ne soient convenablement enchaînées et soudées ensemble, elles

» s'isolent au bout de quelque temps, et finissent par tomber en ruine. C'est pour-
» quoi un architecte prévoyant aura soin de réunir à l'avance toute la quantité de
» briques et de pierres nécessaires, et de faire donner à ces dernières, avec toute
» la promptitude possible, toutes les tailles et façons qu'elles doivent recevoir
» pour entrer dans l'ouvrage : en un mot, il est convenable de s'assurer en pre-
» mier lieu de tous les matériaux dont se composent les différentes parties d'un
» édifice. Les choses une fois préparées, l'ouvrier employé à la construction
» des murs, posant en même temps les briques et les pierres, les unira plus inti-
» mement entre elles, et l'ouvrage montera avec plus de célérité. L'épaisseur à
» donner aux pierres d'un revêtement doit être telle qu'elles puissent former un
» mur déjà solide par lui-même, et susceptible de se soutenir sans le secours
» d'aucun mortier. En suivant les indications que nous venons de prescrire, on
» peut être assuré d'avoir obvié pour long-temps à toutes les désunions et dégra-
» dations auxquelles sont exposés les ouvrages de ce genre. La Figure A, que
» nous avons placée ici, peut donner une idée des dispositions que nous venons de
» décrire : on y voit aussi la manière la plus sûre d'établir les terrasses au devant
» des fenêtres. Il est presque inutile d'observer que l'arrangement doit être le
» même, soit que le premier ordre présente un caractère rustique, soit qu'il com-
» porte plus de délicatesse dans ses détails; l'essentiel est que l'épaisseur du mur
» puisse contenir la largeur du palier.

» La Figure B présente l'arrangement le plus convenable pour l'intérieur des
» murs en pierre et en briques, lorsque la façade sera décorée d'ordres d'archi-
» tecture avec tous leurs accessoires, afin de procurer la plus grande solidité pos-
» sible à la construction. On divisera inégalement sur la hauteur les colonnes
» composées de plusieurs assises, et l'on fera porter aux pierres les plus basses
» un scellement plus grand qu'aux autres, de manière à ce qu'elles se trouvent
» solidement reliées dans les murs; mais si les colonnes pouvaient être formées
» d'une seule pièce, il faudrait les engager du tiers de leur grosseur, et prendre
» ensuite les chapiteaux et les bases dans des morceaux dont la queue puisse en-
» trer profondément dans la maçonnerie.

» Quant aux pierres lancées en dehors des édifices, pour figurer les profils et
» corniches qui les décorent, il est essentiel que la partie non travaillée, qui
» porte sur les murs, soit plus forte et plus pesante que celle qui doit recevoir le
» travail; de telle sorte que le poids de la saillie soit plus que balancé par celui de
» la masse dont elle fait partie, et qu'elle puisse ainsi se soutenir sans le secours
» d'aucun autre appui.

» Dans les endroits où la pierre et le marbre sont rares et d'un prix trop élevé,
» voici de quelle manière pourront être établis les revêtemens dont on voudra
» décorer les murs des édifices : il faudra d'abord faire en sorte que tous les mor-
» ceaux dont ils doivent se composer se trouvent entièrement façonnés avant que

» les murs soient sortis de terre, afin qu'ils puissent être mis en œuvre avec » les autres matériaux, et faire corps dans l'ensemble de la maçonnerie en second » lieu, on aura soin de disposer sur l'épaisseur de l'appareil, des pierres plus » longues que les autres, *entaillées sur leurs lits*, au droit des paremens, de ma- » nière à présenter sur le profil la forme d'une *queue d'hirondelle*, pour retenir » les parties de placage. Cet assemblage ne peut avoir lieu que lorsque le revête- » ment s'érige en même temps que la grosse construction.

» Afin d'obvier aux efforts que le tassement de la maçonnerie ne manquerait » pas d'exercer contre de pareils ouvrages, il est essentiel de n'y employer que » des briques parfaitement dressées, et de ne faire usage que de mortier de la » meilleure qualité ; on tiendra les joints d'une épaisseur médiocre, et l'on exigera » que les ouvriers impriment fortement les briques dans le mortier en les posant. » Mais une précaution plus importante encore pour prévenir les accidens aux- » quels sont exposées les constructions de ce genre, c'est d'y mettre tout le temps » nécessaire, et d'éviter de surcharger de suite des parties encore fraîches : le meil- » leur moyen est de laisser reposer l'ouvrage après avoir terminé plusieurs rangées » d'assises; de cette manière la maçonnerie a déjà pris de la consistance lorsqu'on » vient à continuer les travaux; mais lorsque les masses ont été accumulées coup » sur coup les unes sur les autres, les murs doivent infailliblement éprouver un » affaissement général, et les pièces du revêtement ne pouvant opposer aucune » résistance à cet effet, se brisent de toutes parts.

» En élevant ainsi ces constructions à plusieurs reprises, on prévient, à la vé- » rité, les accidens dont nous venons de parler ; mais néanmoins les ouvrages en » pierre de taille posés en liaison avec la maçonnerie, seront toujours préférables; » et, à mon avis, les décorations des façades ne devraient jamais être exécutées » d'une autre manière. En effet, la plupart des édifices antiques, couverts autre- » fois d'incrustations semblables à celles dont il vient d'être question, dépouillés » aujourd'hui de leurs riches enveloppes, ne présentent plus que des ruines in- » formes; tandis que ceux où la pierre de taille se trouve convenablement reliée » avec la maçonnerie, existent encore aujourd'hui dans leur entier. C'est pourquoi » cette dernière méthode doit toujours être regardée comme la plus sûre pour » obtenir des constructions solides et durables.

» Dans plusieurs édifices d'Italie, quelques architectes ont eu l'idée de faire » monter entièrement la maçonnerie des murs, en y observant les dispositions » nécessaires pour recevoir les revêtemens dont ils devaient être décorés, et » qu'ils ont fait poser lorsque la construction avait pris son assiette; mais, au- » jourd'hui, dans beaucoup d'endroits, on voit ces placages, *collés*, pour ainsi dire, » sur les murs, au lieu d'entrer dans leur construction, se détacher, tomber en » pièces, et menacer ruine de tous côtés. » (*Architecture de S. Serlio*, *Livre IV. Chapitre IX.*)

Serlio parle ici des différentes espèces de revêtemens, en architecte dont le jugement s'est formé dans la pratique de son art; ce passage est une véritable leçon sur les constructions de ce genre. On pourrait seulement objecter, à l'égard des *coupes d'onglet* qui servent à retenir les pièces de placage, qu'il serait peut-être plus convenable de les pratiquer sur les côtés des pierres scellées, que sur leurs lits. Quant aux revêtemens de placage, bien qu'il blâme avec raison leur emploi dans la décoration des édifices (*surtout pour l'extérieur*), l'état de délabrement où nous voyons les monumens antiques qui en étaient recouverts, ne prêterait ici qu'un faible appui à son opinion, vu que la violence a eu beaucoup plus de part à leur destruction qu'aucune autre cause.

Figures 7 *à* 10. *Revêtement de l'attique intérieur du Panthéon de Rome.*

Le mérite des constructions romaines n'a peut-être été jamais mieux apprécié que dans les magnifiques ouvrages de G. B. et F. Piranesi : ces habiles artistes sont les premiers qui aient apporté dans l'étude des procédés de l'art de bâtir le même zèle et le même enthousiasme que d'autres ont épuisés sur la modinature des ordres antiques. L'illustration que cette intéressante partie de l'architecture a reçue de leurs talens, n'est pas le moindre titre qu'ils aient acquis à l'estime de la postérité.

Les détails que nous donnons ici de l'ajustement des marbres qui formaient autrefois la décoration de l'attique du Panthéon de Rome, sont pris dans l'ouvrage que le dernier a publié sur ce monument. Après tout ce qui a été dit sur les constructions antiques, dans la IIe. Section du Livre IVe. de cet ouvrage, la vue seule des Figures peut suffire pour donner une parfaite intelligence des procédés mis ici en usage pour maintenir cette décoration de placage. Il est à remarquer que les dalles de marbre étaient appuyées sur des couches de mortier plus ou moins épaisses, ce qui donnait beaucoup de solidité à l'ouvrage et devait rendre la pose beaucoup plus difficultueuse ; peut-être les briques fichées çà et là dans le mortier, Figure 10, avaient-elles pour objet de faciliter cette manœuvre. Indépendamment du mortier sur lequel elles étaient appliquées, toutes les pièces étaient encore maintenues par des crampons de bronze très-multipliés.

PLANCHE LXIX.

Figures 3, 4, 5, 6 *et* 7. *Coupole de Saint-Vital, à Ravenne.*

Cette coupole, que l'on croit plus ancienne que celle de Sainte-Sophie, est curieuse par la manière dont elle est construite : son plan est un octogone régulier :

elle est soutenue par huit piliers placés aux angles. Entre ces piliers sont sept grandes niches extrêmement élevées, divisées en deux étages. Le fond de ces niches est à jour, avec des colonnes, comme celles de Sainte-Sophie. Le huitième côté de l'octogone est percé d'une grande arcade, servant d'entrée au sanctuaire; cette arcade est de même diamètre et de même élévation que les niches. La partie de mur au-dessus, qui est sans ouvertures, soutient une voûte hémisphérique ou coupole, dont le plan est un cercle inscrit dans un octogone régulier. La base circulaire de cette voûte n'est pas rachetée par des pendentifs, comme à Sainte-Sophie; ce sont des arcs qui soutiennent la saillie des angles. Le bas de la voûte, qui est construit en maçonnerie ordinaire, est ouvert par huit croisées, divisées en deux parties par une petite colonne qui supporte deux petites arcades. La coupole ou voûte hémisphérique est formée par un double rang de petits tuyaux de terre cuite de sept pouces de longueur, sur environ deux pouces de diamètre; chacun de ces tuyaux est ouvert par un bout, et l'autre forme une pointe; ils sont posés en place horizontalement, de manière que la pointe de l'un, entre dans l'ouverture de l'autre; cette disposition ne forme point de rangs parallèles : on pourrait même dire qu'elle n'est faite que par un seul rang; car c'est une double spirale qui commence au-dessus des arcs des croisées et qui finit à la clef. Les cordons que devrait former cette espèce de spirale ne sont apparens, ni à l'intérieur, ni à l'extérieur, parce que la voûte est recouverte d'un enduit de mortier. Pour fortifier les reins de cette coupole, on a fait, au-dessus des arcs des croisées qui sont dans le bas de la voûte, une maçonnerie, avec des espèces d'urnes en terre cuite. Ces urnes ont 22 pouces de hauteur et 8 pouces de diamètre; elles sont terminées en pointe par le bas, avec des rayures en spirale, qui semblent avoir été faites pour donner plus de prise au mortier. A la hauteur du fond des ces urnes, il y a un petit trou, qui avait été fait vraisemblablement pour en retirer la liqueur qu'on y pouvait mettre; ce qui prouverait que ces vases n'ont pas été fabriqués exprès. La bouche, ou l'ouverture supérieure de ces urnes, est d'environ 3 pouces $\frac{1}{2}$ de diamètre, avec deux anses placées un peu au-dessous. On voit à Ravenne, chez le sieur Camillo Morigia, une de ces amphores qui fut ôtée en raccommodant la voûte.

Il y a plusieurs autres édifices à Ravenne, dont les voûtes sont construites comme la coupole en question, telle que celle du baptistère de Sainte-Marie in Cosmedin. La coupole de la grande niche de l'ancienne métropolitaine, qui a été démolie, pour construire la nouvelle, était faite de la même manière.

Cette méthode de construire les voûtes, pour les rendre plus légères, était connue des anciens Romains. A Saint-Étienne-le-Rond, que l'on dit être un ancien temple de Faune, bâti par l'empereur Claude, on voit des restes de voûtes en tuyaux; mais au lieu d'être posés horizontalement, ils sont debout et forment des arcs verticaux posés les uns à côté des autres. Quant aux grandes urnes, il y a plu-

sieurs restes d'édifices antiques, à Rome et aux environs, où l'on s'est servi de grands vases pour remplir les reins des voûtes. On en voit au cirque de Caracalla et au tombeau de sainte Hélène. (*Même Planche*, *Figures* 6, 7, C, C.)

La coupole de Saint-Vital n'est pas apparente à l'extérieur; elle est recouverte d'un toit de charpente fort aplati et couvert en tuiles. (*Extrait de l'Encyclopédie méthodique*, *au mot Coupole*, *article de l'Auteur*.)

Figure 8. *Disposition des ouvrages en brique, dans la coupole du Panthéon de Rome.*

L'étude des monumens antiques de Rome nous a toujours paru devoir être la plus utile et la plus profitable à l'architecture, tant sous le rapport de l'art proprement dit que sous celui de l'art de bâtir. Il n'entrait pas dans le plan de cet ouvrage de développer les nombreuses considérations qui viennent à l'appui de cette assertion, envisagée sous le premier point de vue; la preuve de la seconde proposition nous paraît résulter invinciblement de tout ce qui a été dit à ce sujet dans le cours de cet ouvrage, et de la vue des principaux exemples sur lesquels reposent cette importante vérité. De toutes les leçons qu'un architecte puisse recueillir au milieu des ruines romaines, il en est une, peu appréciée jusqu'à ce jour, et qui semblait devoir donner lieu aux plus profondes méditations; c'est celle qui résulte de l'observation de la marche suivie pour l'exécution des travaux, dans laquelle il est facile de reconnaître que la construction et la décoration des plus grands édifices ont été traités d'une manière distincte et presque indépendante l'une de l'autre. C'est à cette distinction ingénieuse qu'il faut attribuer sans doute la savante ordonnance de leurs plans; et par suite, ces apparences démonstratives de la construction, qui, sans ajouter la plupart du temps à la solidité de l'ouvrage (*comme nous l'avons déjà dit*, *page* 266) n'avaient peut-être d'autre objet que de prévenir les inquiétudes de l'esprit par l'image des combinaisons les plus puissantes. Ces dispositions décoratives, apparentes aujourd'hui dans toutes les constructions romaines, se retrouvent sous les enduits et les placages dont la voûte et les murs intérieurs du Panthéon de Rome ont été recouverts.

Figures 9 *et* 10. *Temple octogone périptère, dans le palais de Dioclétien, à Spalatro.*

« M. Visconti s'étonne, avec raison, que l'on suppose que ce temple périptère » ait été dédié à Jupiter; en effet, on ne voit pas sur quoi cette opinion est fondée. » Le surnom de *Jovius*, que prenait Dioclétien, de même que son collègue Maxi- » mien prenait celui d'*Herculius*, a pu peut-être y donner lieu : cependant, les bas- » reliefs dont la frise intérieure est ornée, qui représentent des génies chasseurs,

» ainsi que les bustes en médaillons, qui paraissent au milieu d'eux, feraient bien » plutôt soupçonner que ce temple corinthien était dédié à Diane.

» Au reste, les proportions de ce monument sont grandes; son élévation exté- » rieure, à partir du pavé de la galerie qui l'entoure, jusqu'à l'origine du toit, est de » 53 pieds 6 pouces [1], et de 63 [2], en y comprenant le soubassement de la colonnade » de cette même galerie : chaque pan de l'octogone est de 25 pieds 6 pouces [3] » pour le corps intérieur de l'édifice, et de 35 pieds 6 pouces [4] pour la galerie ex- » térieure; la hauteur des colonnes, y compris leur base et leur chapiteau, est de » 19 pieds [5], sur 2 d'épaisseur [6]; leur socle est de 2 pieds [7], et l'entablement de » 7 pieds [8] : il était lui-même couronné de statues plus grandes que nature, mais » elles ont disparu. L'élévation du toit octogone qui recouvrait la voûte du dôme » intérieur, était de 22 pieds [9]; ce qui donnait à l'édifice total, depuis le sol jus- » qu'au sommet du comble, une élévation de 85 pieds [10].

» La forme intérieure de ce monument est circulaire, et présente une belle » rotonde, dont le diamètre est de 42 pieds [11] : son élévation, depuis le sol jus- » qu'à l'origine de la voûte, est de 45 pieds [12], non compris l'élévation de la cou- » pole : huit colonnes corinthiennes de 24 pieds de proportion [13] soutiennent un » entablement dont l'architrave, les frises, les corniches, sont extrêmement riches » en sculpture, et couronné lui-même d'un second ordre composite en retraite, sur » lequel s'appuie le cintre de la voûte. Ces colonnes composites ont 22 pieds [14] de » proportion, y compris leur chapiteau. La voûte, toute de brique D, est bien » conservée, et l'on aperçoit encore à quelques places le mastic, ou stuc, dont elle » était recouverte, et sur lequel sans doute devaient être des peintures ou des » fresques : huit niches, dont quatre carrées et quatre demi-circulaires, surmon- » tées d'arcades avec des impostes, sont pratiquées dans l'épaisseur des murs au- » tour de cette rotonde. » (*Extrait du Voyage Pittoresque de l'Istrie et de la Dalmatie*, *de L.-F. Cassas*. *Paris*, 1802.)

La disposition des briques qui forment la surface intérieure de la voûte de ce monument, présente une combinaison qui résulte bien plus de la recherche d'une vaine décoration, que d'aucune donnée sur l'arrangement le plus convenable des matériaux pour ces sortes d'ouvrages. C'est ce qu'on peut appeler, en terme de pratique, un *chef-d'œuvre d'ouvrier*. Cet exemple vient ici à l'appui de ce que nous avons dit cidevant, au sujet de la division des travaux, dans les constructions antiques. Cette voûte était recouverte d'un enduit de stuc, dont quelques parties

[1] 17 metres, 378 millimètres.
[2] 20 mètres, 465 millimètres.
[3] 8 mètres, 283 millimètres.
[4] 11 mètres, 531 millimètres.
[5] 6 mètres, 172 millimètres.
[6] 0 mètre, 650 millimètres.
[7] 0 mètre, 650 millimètres.
[8] 2 mètres, 274 millimètres.
[9] 7 mètres, 146 millimètres.
[10] 27 mètres, 611 millimètres.
[11] 13 mètres, 643 millimètres.
[12] 14 mètres, 618 millimètres.
[13] 7 mètres, 796 millimètres.
[14] 7 mètres, 146 millimètres.

subsistent encore, en sorte que ces dessins bizarres devaient être cachés, mais enfin ils avaient été admirés, peut-être même l'ouvrier avait-il pensé qu'un jour le résultat de son adresse ferait l'unique ornement de la voûte, ce que l'événement n'a que trop justifié.

Figure 11. *Détail de construction tiré de l'intérieur du temple de l'Honneur et de la Vertu, aujourd'hui Sant'Urbano alla Caffarella.*

L'intérieur de ce monument, construit tout en briques, était autrefois revêtu d'enduits ou de stucs qui existent encore sur la voûte, mais dont les murs sont entièrement dépouillés. Cet état de nudité permet d'observer la construction singulière des architraves, figurés au-dessus des pilastres corinthiens de l'attique. Bien que ce détail soit très-peu important par lui-même, on y trouve cependant une nouvelle occasion de signaler ce discernement exquis avec lequel les anciens Romains savaient apprécier la portée des moyens dont ils pouvaient disposer. Une plate-bande en briques, de cette portée, aurait difficilement conservé sa rectitude, à cause de la compression dont le mortier est susceptible; mais au moyen d'un sommier en pierre, fortement scellé dans le mur, ils établissent un nouveau point d'appui au milieu de l'espace, et formant ainsi deux plate-bandes, au lieu d'une, ils réduisent à de justes dimensions l'étendue qu'il convient de donner à ces sortes d'ouvrages.

Il existe à Rome plusieurs autres exemples d'appareil du même genre, et notamment au portique de Philippe, dont on voit les ruines auprès de l'église de *Santa Maria in Cacaberis*.

FIN DES NOTES ADDITIONNELLES.

TABLE DES MATIÈRES.

SOMMAIRE DU SECOND LIVRE

DU TRAITÉ DE L'ART DE BATIR.

CHAPITRE PREMIER.

DE L'APPAREIL DES CONSTRUCTIONS ANTIQUES.

PAGES

DIFFÉRENS GENRES D'APPAREIL CONNUS ET PRATIQUÉS PAR LES ANCIENS POUR LA CONSTRUCTION DES MURS. — Caractères primitifs des constructions en pierre de taille chez différens peuples anciens et modernes. — Les pierres généralement grandes, et souvent colossales dans les monumens de l'Égypte. — L'appareil, quoique très-régulier, n'a jamais été accusé comme moyen de décoration dans aucun monument égyptien, avant la domination d'Alexandre. — Constructions remarquables par les dimensions des pierres, en Perse et en Syrie. — Pierres qui ne pouvaient être remuées par moins de cent hommes, employées par l'empereur Alexis, dans la ville de Nicomédie. — Ruines d'une forteresse des anciens Péruviens, près de Cusco, remarquables par l'énormité des pierres qui s'y rencontrent. — Caractère général des constructions antiques. — APPAREIL SIMPLE ET PAR ASSISSES RÉGLÉES, chaque pierre formant l'épaisseur du mur. — Exemple de cet appareil. — APPAREIL DOUBLE, formé de pierres d'égales dimensions, posées deux à deux en largeur, et seules en longueur, sur l'épaisseur du mur. — Exemples de cet appareil. — APPAREIL TRIPLE, formé de pierres de dimensions égales, posées trois à trois en largeur, et seules en longueur sur l'épaisseur du mur. — Exemple de cet appareil. — APPAREIL COMPOSÉ, alternativement double et triple sur l'épaisseur du mur. — Exemple de cet appareil. — APPAREIL IRRÉGULIER, formé de pierres de toutes dimensions, raccordées en assises rompues, au moyen d'entailles sur tous les sens. — Exemple de cet appareil. — APPAREIL POLYGONAL, formé de pierres taillées en prismes irréguliers. — Exemple de cet appareil. — APPAREIL ENCHAINÉ, formé de pierres alternativement refouillées sur chaque lit, pour s'encastrer les unes dans les autres. — Exemple de cet appareil. — Autre de l'invention de l'auteur. — APPAREIL MIXTE, formé de pierres et de poutres combinées ensemble, d'après les indications de Vitruve, et la description des murs des Gaulois, par Jules César. . . . . 1—12

CHAPITRE DEUXIÈME.

PRINCIPES DE L'APPAREIL POUR LES MURS, PILIERS ET MASSIFS EN PIERRES DE TAILLE.

PAGES.

DE LA STABILITÉ. — De la direction de la pesanteur. — Du centre de gravité. — Position et forme à donner aux pierres de taille pour les murs et piédroits. — Des dimensions des pierres. — Nouvelle méthode pour l'appareil des masifs et revêtemens en pierres de taille. — Observation sur le système d'appareil enchaîné dont on a fait usage pour la construction du phare d'Édystone. . . . . 13—22

CHAPITRE TROISIÈME.

DE LA POSE.

PERFECTION DE LA POSE CHEZ LES ANCIENS. — Absence totale du mortier entre les pierres des édifices antiques. — Clefs de bois, crampons de fer et de bronze, employés par les anciens pour opérer une liaison entre les blocs des constructions en pierre de taille. — VICES DES CONSTRUCTIONS MODERNES EN PIERRES DE TAILLE. — Conditions essentielles de la solidité des murs, sacrifiées à la régularité des surfaces apparentes. — Causes de l'introduction de ces abus. — Défaut de ces constructions rendus plus sensibles par le détail des précautions qu'exige leur établissement. — Conséquence inévitable du *démaigrissement* des lits des pierres dans les parties d'édifices qui ont de grandes charges à soutenir. — *C'est uniquement à ce procédé absurde, cité pour exemple par quelques auteurs, qu'il faut attribuer l'affaissement des piliers de l'église Sainte-Geneviève.* — MANIÈRE DE POSER LES PIERRES DE TAILLE POUR FORMER DES CONSTRUCTIONS SOLIDES. — Description détaillée des diverses opérations de la pose, d'après l'observation des monumens antiques, et les principes de l'art de bâtir. — Note sur les causes des dégradations survenues aux piliers du dôme de l'église de Sainte-Geneviève, et sur les moyens employés par l'auteur pour la consolidation et la conservation de ce monument . . . . . 23—38

LIVRE TROISIÈME.

STÉRÉOTOMIE.

PREMIÈRE SECTION

Tracé des courbes qui peuvent servir à former la surface intérieure des voûtes.

CHAPITRE PREMIER.

DES COURBES FERMÉES.

PAGES

Du cercle. — De l'ellipse. — De l'ellipse considérée comme le résultat de la section oblique d'un cylindre. — Comparaison du cercle avec l'ellipse. — Du compas à l'ellipse, ou compas ovale. — Des perpendiculaires à l'ellipse. — Nouvelle propriété des foyers de l'ellipse, découverte par l'auteur. — Les foyers représentent les extrémités de l'axe du cylindre ou du cône compris dans la section oblique qui produit l'ellipse. — Démonstrations. — Des ovales et anses de paniers. — De la cicloïde. — De la cassinoïde. — Comparaison de l'ellipse des sections coniques aux deux courbes précédentes. — Des courbes à onze centres qui ne sont pas des imitations d'ellipses. — Première méthode. — Deuxième méthode. — Troisième méthode. — Quatrième méthode, pour former avec le même nombre d'arcs de cercle une imitation d'ellipse. — Des cintres surhaussés. — Des cintres pour les arcs rampans. . . . . 39—65

CHAPITRE DEUXIÈME.

DES COURBES OUVERTES.

Circonstances qui peuvent nécessiter l'emploi des courbes ouvertes pour former le cintre des voutes. — De la parabole. — Méthode graphique pour tracer cette courbe, lui mener des tangentes, et lui élever des perpendiculaires. — De l'hyperbole. — Méthode graphique pour tracer cette courbe, lui mener des tangentes et lui élever des perpendiculaires. — De la chaînette. — Moyen mécanique d'obtenir cette courbe. — Méthode graphique pour tracer la chaînette, mener des tangentes à sa courbe, et lui élever des perpendiculaires. . . . . 66—74

DEUXIÈME SECTION.

Tracé des épures.

CHAPITRE PREMIER.

DES PROJECTIONS.

PAGES.

Définition de ce qu'on entend par épures dans l'art de batir. — Tracé des Épures aussi ancien que la construction en pierres de taille. — Épures de chapiteaux égyptiens, tracées dans les carrières de Gébel Abou-Fedah, dans l'Heptanomide. — Principes du tracé des épures. — Corps solides divisés en trois classes, relativement aux projections. — Première classe, solides à surfaces planes. — Deuxième classe, solides terminés par des surfaces planes et des surfaces courbes. — Troisième classe; solides dont la surface est à double courbure. — Projection des lignes droites. — Projection des surfaces. — Projection des lignes courbes. — Projection des solides. . . . . 75—81

CHAPITRE DEUXIÈME.

DÉVELOPPEMENT DES SOLIDES A SURFACES PLANES.

Développemens des polyèdres réguliers. — 1°. Le tétraèdre, ou solide à quatre faces semblables. — 2°. L'héxaèdre, ou cube dont la surface est composée de six carrés égaux. — 3°. L'octaèdre, composé de huit triangles équilatéraux. — 4°. Le dodécaèdre, composé de 12 pentagones. — 5°. L'icosaèdre, composé de vingt triangles équilatéraux. — Développement des pyramides et des prismes. — Développement des prismes droits et obliques. — Développement des cylindres droits et obliques. — Développement des corps ou solides dont la surface est à double courbure. . . . . 82—91

CHAPITRE TROISIÈME.

DES ANGLES DES PLANS OU SURFACES QUI TERMINENT LES SOLIDES.

Distinction de trois espèces d'angles dans les solides. — 1°. Les angles plans. — 2°. Les angles solides. — 3°. Les angles des plans. — Moyen pour obtenir graphiquement les mesures des angles des plans. — Angles des plans déterminés par le calcul trigonométrique. . . . . 92—95

TROISIÈME SECTION.

Construction et appareil des voûtes plates.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES SUR L'APPAREIL ET LA CONSTRUCTION DES VOUTES.

PAGES.

SYSTÈMES DE CONSTRUCTION EN USAGE AVANT LA CONNAISSANCE DES VOUTES. — Considérations générales sur la stabilité des voûtes, en raison de leur épaisseur, du nombre et de la grandeur de leurs voussoirs, de la forme de leur cintre, et de celle de leur extrados. — Les voûtes plates sont toutes semblables quant à leurs surfaces. — Les différentes espèces de voûtes à surfaces courbes peuvent se réduire à trois principales, savoir : les voûtes cylindriques, les voûtes coniques et les voûtes sphériques. — Voûtes composées, formées de la réunion de plusieurs parties des voûtes simples. — Direction à donner aux rangs de voussoirs dans les voûtes simples et les voûtes composées. — Construction particulière des voûtes d'arêtes gothiques. — Équilibre des voûtes, résultant du poids des voussoirs mis entre eux comme la différence des tangentes des angles formés par leurs joints, obtenus par une opération graphique. — *Table de la moindre épaisseur des voûtes circulaires ou elliptiques, prise au milieu de la clef.* Observations sur la pose des voussoirs . . . . . 96—108

CHAPITRE PREMIER.

PLATES-BANDES ET PLAFONDS NON APPAREILLÉS.

EFFORTS DE L'ART POUR APPLIQUER L'EMPLOI DE LA PIERRE A TOUS SES OUVRAGES. — Parallèle entre l'architecture grecque et l'architecture égyptienne. — Opinion des anciens sur les conditions de la solidité des constructions de ce genre. — Étonnement de l'antiquité pour les exemples qui s'éloignaient des principes reçus. — Plates-bandes et plafonds du temple de Karnak, à Thèbes, en Égypte. — Plates-bandes et plafonds du temple de Thésée, à Athènes. — Plates-bandes et plafonds du tombeau de Mylasa. — Plafonds de la tribune de Pandrose, attenant au temple de Minerve Poliade, à Athènes. — Plates-bandes du portique du Panthéon d'Agrippa, à Rome. — Plates-bandes du temple de la Concorde, à Rome. — Plates-bandes du temple de Jupiter Stator, à Rome. — Plates-bandes du temple de Mars Vengeur, à Rome. — Instructions de Philibert de l'Orme, relatives à la construction des plates-bandes . . . . . 109—113

CHAPITRE DEUXIÈME.

APPAREIL DES PLATES-BANDES ET PLAFONDS.

PAGES.

EXISTENCE SIMULTANÉE DES PLATES-BANDES, DES ARCS ET DES VOUTES APPAREILLÉES, CONSTATÉE POUR LA PREMIÈRE FOIS DANS L'ÉMISSAIRE DU LAC ALBANO, CONSTRUIT 338 ANS APRÈS LA FONDATION DE ROME.—Appareil des plates-bandes écarté de l'architecture grecque à cause de l'action qu'il exerce sur les points d'appui, et de l'irrégularité de la forme des claveaux. — Plate-bande appareillée de l'émissaire du lac Albano. — Appareil de la porte du tombeau d'Iamblichus, à Palmyre. — Appareil de la porte du temple de Jupiter, à Baalbeck. — Architraves appareillées du temple de Junon, dans le portique d'Octavie, à Rome. — Architraves appareillées avec les claveaux apparens, des carcères de Domitien, à Rome. — Appareil des plates-bandes dans le théâtre de Marcellus, à Rome. — Appareil d'une porte dans l'intérieur du tombeau de C. Métella, à Rome. — Appareil de l'une des portes du palais de Dioclétien, à Spalatro. — Plates-bandes appareillées à joints ondulés, dans l'architecture des Arabes. — Principes de l'appareil des plates-bandes. — Règles relatives à l'appareil des plafonds, ou voûtes plates. . . . . 114—120

QUATRIÈME SECTION.

Appareil des arcs, des portes et des voûtes en berceau.

ÉTAT DE L'ART DE L'APPAREIL DES VOUTES CHEZ LES ANCIENS ROMAINS. — Forme indécise de l'extrados dans les arcs de l'émissaire du lac Albano. — Arcs extradossés d'égale épaisseur au pont Fabricius, à Rome. — Arcs composés d'un double rang de voussoirs, extradossés d'égale épaisseur, tirés du même monument. — Arcs formés d'un triple rang de voussoirs extradossés d'égale épaisseur, tiré des égouts de Tarquin l'Ancien, construits l'an 580 de la fondation de Rome. — Arc biais, appareillé à tas de charge, dans le mur d'enceinte du forum de Nerva, à Rome. —Voûte conique de l'émissaire du lac Albano. —Descentes droites des arènes de Nismes. —Voûte cylindrique des bains de Diane, à Nismes. —Voûte sphérique du temple rond de Baalbeck. — Appareil figuré en stuc, sur une voûte d'arête, dans la galerie des statues de la ville Adrienne, à Tivoli. . . . 121—124

CHAPITRE PREMIER.

DES ARCS.

TRACÉ DE L'ÉPURE DES ARCS DROITS ET BIAIS, DANS DES MURS A PLOMB ET EN TALUS. — Détail particulier du tracé des pierres. — Épures des arcs droits, biais et en talus, dans des murs circulaires en plan, désignés sous le nom d'arcs en tour ronde . . . . . 125—131

CHAPITRE DEUXIÈME.

DES ARRIÈRE-VOUSSURES.

PAGES.

Les voussures sont des espèces de surfaces coniques. — Épures de l'arrière-voussure dite de Marseille. — Premier moyen. — Deuxième moyen. — Épures de l'arrière-voussure dite de Montpellier, par deux méthodes différentes. — Épure de l'arrière-voussure dite de Saint-Antoine. . . . . 132—136

CHAPITRE TROISIÈME.

DES VOUTES EN BERCEAU QUI SE PÉNÈTRENT.

Courbes formées par la rencontre des voutes, désignées sous le nom de lunettes, susceptibles de produire une infinité de figures différentes. — La manière de les développer est fondée sur un même principe — Épure de la voûte en berceau circulaire, ou plein cintre, pénétré par une autre d'un moindre diamètre, qui la rencontre perpendiculairement ou à angles droits. — Épure du berceau droit, semblable au précédent, pénétré par un autre de moindre diamètre, qui le rencontre obliquement. — Moyen pour corriger l'inégalité des angles dans cette pénétration. . . . . 137—140

CHAPITRE QUATRIEME.

DES DESCENTES.

Descente droite rachetant un berceau, ou épure de la pénétration d'une voûte droite par une voûte inclinée dans le sens de la hauteur. — Descente biaise rachetant un berceau, ou épure de la pénétration d'une voûte droite par une voûte qui la rencontre obliquement, en plan et sur la hauteur. . . 141—143

CHAPITRE CINQUIÈME.

DES VOUTES D'ARÊTE.

Pénétration de deux voutes d'égale hauteur. — Dans les voûtes d'arêtes régulières, les courbes, formées par les pénétrations, vont en ligne droite d'un angle à l'autre du plan. — Épure de la voûte d'arête sur un plan rectangulaire. — Manière de tracer les pierres par équarrissement. — Manière de tracer les pierres par des panneaux de douelle et beuvaux d'angle. — Épure de la voûte d'arête irrégulière, sur quadrilatère dont les côtés sont inégaux. — Épure de la voûte d'arête sur hexagone régulier. — Épure de la voûte d'arête gothique. — Épure de la voûte à doubles arêtes en plein cintre. — Épure de la voûte gothique à triples arêtes. . . . . 144—157

CHAPITRE SIXIÈME.

DES VOUTES EN ARCS DE CLOÎTRE.

PAGES.

Différence entre ces voutes et les voutes d'arête. — Épure de la voûte en arc de cloître sur un plan carré. — Épure de la voûte en arc de cloître sur un plan octogone. — Observation sur les voûtes en arc de cloître sur un plan irrégulier. — Épure de la voûte en arc de cloître barlongues. — Épure de la voûte en arc de cloître avec plafond dans le milieu. . . . . 158—162

CINQUIÈME SECTION.

Appareil des voûtes coniques, sphériques, sphéroïdes et conoïdes; des voûtes composées et des escaliers.

CHAPITRE PREMIER.

DES VOUTES CONIQUES ET CONOÏDES.

Distinction entre ces deux espèces de voutes. — Épure de la voûte conique ou *trompe* dans l'angle rachetant un pan coupé. — Épure de la trompe dans l'angle rachetant un angle saillant. — Épure de la trompe dans l'angle rachetant une tour ronde. — Épure de la voûte conique biaise et inclinée dans un mur en talus. — Épure de la voûte conique à double ébrasement, biaise et percée dans un mur en talus. — Épure de la voûte conoïde. — Note sur la grande voûte conoïde du dôme de Sainte-Geneviève. . . . . 163—173

CHAPITRE DEUXIÈME.

DES VOUTES SPHÉRIQUES ET SPHÉROÏDES.

Différence entre les noms de dôme et de coupole donnés a ces voutes.—Épure de la voûte sphérique appareillée par assises horizontales, formant des couronnes de voussoirs concentriques. — Expédient pour suppléer au défaut de la pierre dans le tracé des voussoirs des voûtes sphériques. — Épure de la voûte sphérique appareillée en arcs verticaux, formant en plan de carrés évidés, inscrits les uns dans les autres — Épure de la voûte sphérique incomplète sur plan carré, appareillée par carrés inscrits. — Épure des niches ou voûtes hémisphériques. —Épure de la trompe en niche *sur le coin*. — Voûtes sphéroïdes sur un plan ovale ou elliptique. — Note sur la manière de tracer les caissons dans les voûtes sphériques et sphéroïdes. — Décroissement irrégulier des caissons de la coupole du Panthéon d'Agrippa, à Rome. — Méthode suivie pour le tracé des compartimens en fer de la coupole de la Halle aux Blés de Paris. . . . . 174—194

CHAPITRE TROISIÈME.

DES VOUTES COMPOSÉES.

PAGES.

PENDENTIFS OU VOUTES SPHÉRICOCYLINDRIQUES. — Usage ordinaire de ces voûtes. — Exemples les plus remarquables de ce genre de voûtes. — Épure et appareil des pendentifs par rangs de voussoirs horizontaux. — Épure des pendentifs appareillés en trompe, ou par voussoirs disposés en forme de panache. — Épure de la voûte d'arête annulaire, résultant de la pénétration d'un berceau circulaire, par une voûte conoïde de même hauteur de cintre. — Épure de la trompe en tour ronde, ou voûte sphéroïde érigée sur un mur droit. . . . . 195—201

SIXIÈME SECTION.

Appareil des escaliers en pierre.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA VIS SAINT-GILLES SUR PLAN CARRÉ.

ORIGINE DU NOM DONNÉ AUX ESCALIERS DE CE GENRE. — Cette pièce de trait se compose de voûtes d'arêtes et en arcs de cloître gauches et rampantes, dont l'exécution présente beaucoup de difficultés. — Instruction particulière sur le tracé de l'épure de la vis Saint-Gilles, sur plan carré. — Erreurs dans lesquelles sont tombés plusieurs auteurs de traités de coupes des pierres. — Moyens d'éviter les coupes vicieuses dans l'appareil de ces escaliers. . . . . 202—207

CHAPITRE DEUXIÈME.

DE LA VIS SAINT-GILLES RONDE.

MÉTHODE SIMPLIFIÉE POUR LE TRACÉ DE L'ÉPURE DE LA VIS SAINT-GILLES RONDE. Autre méthode plus prompte à suivre dans l'exécution de cette pièce de trait. — Observation relative à la disposition des premiers rangs de voussoirs. . . 208—211

CHAPITRE TROISIÈME.

DES ESCALIERS A VOUSSURES ET A REPOS.

EMPLACEMENS CONVENABLES AUX ESCALIERS DE CE GENRE. — Forme et disposition les plus favorables au développement de ces escaliers. — Épure du grand escalier à repos, soutenu par des voussures rampantes et par des trompes dans les angles, ou par des parties de voûtes en arc de cloître. — Manières différentes de tracer les voussoirs dans les voussures de ces escaliers. . . . . 212—215

CHAPITRE QUATRIÈME.

DES ESCALIERS A JOUR.

PAGES.

LES MARCHES ET LE LIMON SONT PRINCIPALEMENT A CONSIDÉRER DANS CES SORTES D'ESCALIERS. — Épure de l'escalier à jour, soutenu par la seule coupe des marches, avec limon et sans limon. — Épure de l'escalier à jour avec limon arrondi dans les angles, paliers et marches tournantes. — Epure de l'escalier à base circulaire, appelé vis à jour, avec limon et sans limon. . . . . 216—220

LIVRE QUATRIÈME.

PREMIÈRE SECTION.

Établissement des aires.

AIRES OU SUPERFICIES PLANES FORMÉES PAR DES OUVRAGES EN PIERRE, EN MAÇONNERIE, OU PAR UN ENDUIT QUELCONQUE. — Avenues et chaussées pavées en pierre au devant des anciens temples de l'Égypte. — Invention des routes pavées attribuée aux Carthaginois. . . . . 221—223

CHAPITRE PREMIER.

DES VOIES PUBLIQUES ET GRANDS CHEMINS.

ARTICLE PREMIER.

DES CHEMINS ANTIQUES. — Les grands chemins sont un des moyens dont les anciens se sont servis pour agrandir et maintenir leur empire. — Parallèle de l'étendue des grands chemins de l'empire romain avec celle des routes du royaume de France, en 1824. — Du titre de *curator viarum*. — Organisation des travaux relatifs à l'établissement et à l'entretien des grands chemins. — Honneurs décernés aux fondateurs et restaurateurs de voies publiques. — Des différentes espèces de chemins en usage chez les anciens Romains. — Signification des mots *via*, *actus*, *iter*, *semita*, *trames*, *diverticulum*, *divortium*, *callis*. — Largeur des voies antiques. — Des matières dont les Romains formaient leurs chemins, de leur construction, et des travaux extraordinaires pour les établir en divers lieux. — *Statumen*, *rudus*, *nucleus*, *summum dorsum* ou

PAGES.

summa crusta. — Chemins conduits à travers les marais, les étangs, les lacs, les rivières, les montagnes les plus élevées et les rochers les plus escarpés. — Passage des Alpes par Annibal. — Calcination des pierres employée depuis avec succès au même genre d'ouvrage. — Routes modernes établies par les Français dans les Alpes . . . . . 224—234

ARTICLE II.

Des chemins modernes. — Des différentes espèces de chemins, indépendamment de leur situation. — Parallèle des chemins antiques avec nos chemins modernes. — Modifications dont notre système de grands chemins serait susceptible. — De l'établissement des chaussées en raison des matières dont on peut disposer. — De la formation des massifs. — Du pavé. — Pavés disposés par rangées transversales ou obliques sur la largeur des chaussées. — Avantages et inconvéniens de cette dernière disposition. — Des routes ferrées. — Supériorité des chaussées pavées pour les routes exposées au passage de voitures chargées au delà de 2,000 kilogrammes par roue. — Chemins établis sans pavé ni massif de maçonnerie. — Note sur les chemins en fer, dits chemins à ornières. — Chemins à ornières étroites. — Chemins à ornières plates. — Chemins en fer à une seule ornière. — *Table montrant l'effet d'une force de traction de* 50 *kilogrammes à différentes vitesses, sur un canal, un chemin en fer et une route ordinaire.* . . . . . 235—244

CHAPITRE DEUXIÈME.

DES AIRES ET PAVÉS INTÉRIEURS.

Établissement des massifs sous les aires et pavés intérieurs, d'après Vitruve. — Briques dont les bords sont recreusés en forme de canal, placées dans le massif des aires des terrasses. — Exemple de pierres dont les joints sont recreusés en forme de canal, observé par Piransei dans un aquéduc antique. — Détails observés par l'auteur dans diverses constructions antiques. — Des aires et pavés à la grecque. — Des pavés à la vénitienne, dits *composti et pavimenti terrazzati.* — Du lastrico. — Des aires en plâtre. . . . . 245—258

DEUXIÈME SECTION.

Construction des murs en maçonnerie.

CHAPITRE PREMIER.

DES MURS EN MOELLONS.

PAGES.

DES DIFFÉRENTES ESPÈCES DE MAÇONNERIES ANTIQUES ET MODERNES. — De *l'opus incertum*, ou maçonnerie en petites pierres informes. — De *l'opus reticulatum*, ou maçonnerie en petites pierres carrées disposées par rangs obliques. — De *l'opus isodomon*, ou maçonnerie en moellons d'égale grandeur. — De *l'opus pseudisodomon*, ou maçonnerie en moellons de grandeurs inégales. — De *l'opus emplecton*, ou maçonnerie de blocage. — Exemples des divers genres de maçonneries antiques observés par l'auteur. — Maçonneries modernes comparées à celles des anciens. . . . . 259—269

CHAPITRE DEUXIÈME.

DES MURS EN BRIQUES.

COMBINAISONS DES BRIQUES POUR FORMER DES LANGUETTES, DES CLOISONS ET DES MURS. — Languettes et cloisons formées par des briques posées de plat et de champ. — Petits murs ou fortes cloisons formées de deux briques d'épaisseur. — Combinaisons différentes pour des murs de trois rangs de briques d'épaisseur. — Murs ayant quatre rangs de briques d'épaisseur. — Briques posées obliquement dans des murs ou massifs d'une très-grande épaisseur. — Combinaisons de briques carrées et de demi-briques posées carrément ou diagonalement. — Murs composés de rangées de pierres et de briques alternatives. — Exemples antiques et modernes de ce genre de construction. . 270—271

CHAPITRE TROISIÈME.

DES MURS ET MASSIFS EN MAÇONNERIE MIXTE.

MURS ET MASSIFS EN MAÇONNERIE DE BLOCAGE PAREMENTÉS EN MOELLONS ET EN BRIQUES. — Exemples tirés des constructions antiques. — Moyen de relier les paremens des murs. — Précautions pour prévenir l'inégalité du tassement. Des revêtemens en pierre de taille. — Exemples tirés de l'antiquité. — Observations sur la construction des piliers, et des murs du dôme de Saint-Pierre de Rome. — Comparaison des constructions en plâtre et de celles en mortier. 272—278

TROISIÈME SECTION.

Construction des voûtes en maçonnerie.

CHAPITRE PREMIER.

DES VOUTES EN MOELLONS.

PAGES.

DISTINCTION DES VOUTES EN VOUTES LÉGÈRES, VOUTES MOYENNES ET VOUTES SOLIDES. — Principes relatifs à la construction des voûtes en pierre de taille, applicables aux voûtes en maçonnerie. — Détails des meilleurs procédés à suivre pour la construction des voûtes maçonnées en mortier et en plâtre. — — Précautions à prendre pour les voûtes en maçonnerie composées de plusieurs rangs de voussoirs superposés. . . . . 279—280

CHAPITRE DEUXIÈME.

DES VOUTES EN BRIQUES.

VOUTES EN BRIQUES ORDINAIRES POUR LES APPARTEMENS. — Il y a deux manières différentes de disposer les briques pour former une voûte, indépendamment de la direction des rangs. — Voûtes désignées sous le nom de *voûtes plates*. — Voûtes plates de l'ancien hôtel des bureaux de la guerre à Versailles. — Voûtes formées avec des briques posées de plat, maçonnées en plâtre. — Essais de ce genre de construction par le maréchal de Belle-Isle. — Autres essais de M. le comte d'Espie. — Forme des voûtes en impériale, ou en arc de cloître, préférable pour les voûtes plates. — Voûtes plates du palais Bourbon. — Voûtes de la halle au blé de Paris. — Des voûtes en poteries creuses. — Exemples antiques de ce genre de construction. . . . . 281—293

CHAPITRE TROISIÈME.

DES VOUTES EN MAÇONNERIE MIXTE.

PREMIÈRES VOUTES DE CE GENRE EXÉCUTÉES PAR LES ANCIENS ÉTRUSQUES. — Difficultés des pénétrations sauvées par l'emploi de la maçonnerie mixte. — Maçonnerie mixte combinée avec l'emploi des briques dans la construction des voûtes. — Exemples tirés des monumens antiques. — Les anciens Romains ménageaient en relief sur les cintres le renfoncement des caissons et compartimens dont ils ornaient leurs voûtes. — Précautions à prendre pour le décintrement des voûtes en maçonnerie mixte. — Dangers auxquels les voûtes sont exposées par la manie de faire entrer les clefs de force. — Manières différentes d'extradosser les voûtes . . . . . 294—297

QUATRIÈME SECTION.

Composition et application des enduits.

CHAPITRE PREMIER.

DES ENDUITS EN MORTIER.

ARTICLE PREMIER.

PAGES.

Des enduits antiques. — Usages des enduits chez les anciens. — Des enduits sur les murs. — Détail des opérations pour l'établissement des enduits, d'après Vitruve. — Observations faites par l'auteur dans les ruines des édifices antiques de Rome. — Des enduits sur les cloisons. — Des enduits dans les lieux humides. — Note sur les *tegulæ mammatæ*, ou tuiles à mamelons citées par Vitruve. — Enduits pour les ouvrages de maçonnerie qui doivent contenir de l'eau. — Indication des moyens pour atteindre à la perfection des anciens en ce genre. . . . . 298—309

ARTICLE II.

Des enduits modernes. — Enduits formés de trois couches, le crépi, le premier enduit et le second enduit. — Détail de la préparation et de l'application du crépi. — Préparation et application du premier enduit. — Composition et application du deuxième enduit. — Matière employée à Naples pour la dernière couche des enduits. . . . . 309—311

CHAPITRE DEUXIÈME.

DES ENDUITS EN PLATRE.

Enduits formés de trois couches. — Le *gobetage*, le crépi et l'enduit. — Préparation du plâtre pour le gobetage et manière de l'appliquer sur les murs. — Préparation du plâtre pour le crépi, et manière de l'étendre sur le gobetage. — Préparation du plâtre pour l'enduit, et manière de l'étendre et de le dresser. — Enduits sur les cloisons, pans de bois, plafonds et lambris sous les toits. — Des lattis jointif et à claire voie. — Du blanc en bourre. — Opinion de l'auteur sur ce genre d'ouvrage. . . . . 311—312

CHAPITRE TROISIÈME.

DES STUCS.

ARTICLE PREMIER.

PAGES.

Des stucs antiques. — Préparations de la chaux et du marbre pour les stucs et enduits, nommés *opera albaria* et *marmorata*, par les Romains, d'après Vitruve. — Manière d'établir les voûtes en stuc dans les appartemens, d'après le même auteur. — Exemples d'ouvrages modernes exécutés d'après les indications de Vitruve. — Opinion de l'auteur sur ce genre d'ouvrages. — Indication des procédés en usage aujourd'hui pour l'établissement des voûtes du même genre. . . . . 313—317

ARTICLE II.

Des stucs modernes. — Renseignemens recueillis par l'auteur sur la fabrication des stucs en mortier, en Italie. — Stucs pour les ornemens et sujets de grand relief. — Stuc pour les enduits et les ornemens. — Stuc pour les ouvrages d'architecture. — Stuc en plâtre. — Choix du plâtre le plus propre à ce genre d'ouvrage. — Préparation du plâtre. — Substances employées pour procurer au plâtre plus de fermeté. — Nature et préparations des couleurs dont on se sert pour imiter les nuances des marbres. — Manière de polir le stuc. — Tableaux en stuc exécutés par incrustations. . . . . 318—325

NOTES ADDITIONNELLES
SUR PLUSIEURS PLANCHES.

Planche neuvième. . . . . Pages. 327—329
Planche quatorzième. . . . . 329—330
Planche dix-huitième. . . . . —330
Planche vingt-huitième. . . . . 330—337
Planche soixante-cinquième. . . . . 337—341
Planche soixante-sixième. . . . . 341—345
Planche soixante-neuvième. 345- 352

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

Librairie de Firmin Didot Frères.

EXPÉDITION SCIENTIFIQUE DE MORÉE, ordonnée par le gouvernement français. 3 vol. grand in-folio, publiés en 42 livraisons, à 12 fr. chaque.

Le 1er volume est achevé. Prix : 168 fr. Il contient la description des antiquités de Pylos, Mothone, Colonis, Coronée, Messène, Lépréum, Scillonte, Olympie, avec 81 planches gravées par les plus habiles artistes.

Les quatre premières livraisons du 2e volume sont en vente.

Les secours accordés par le gouvernement à ce magnifique ouvrage ont permis aux éditeurs de l'établir à un prix aussi modique.

LES RUINES DE POMPÉI, par Mazois, et terminées par M. Gau. Ouvrage complet en 35 livraisons, formant 3 grands volumes in-fol. Prix de chaque livraison : 20 francs. Les 34 premières sont en vente; la 35e, qui complétera l'ouvrage, paraîtra incessamment.

Ce magnifique ouvrage, le plus complet qui existe sur Pompéi, est indispensable aux architectes et aux antiquaires. Il décrit les monuments et usages de l'antiquité, voies, tombeaux, portes et murailles des villes, fontaines publiques, rues et habitations particulières, portiques, forum, édifices municipaux, temples, théâtres, bains, etc., et la décoration intérieure et extérieure de ces édifices.

GAUTHEY. Traité de la construction des ponts, suivi de divers mémoires concernant les canaux de navigation. 3 volumes in-4°. Prix : 72 fr.

Le texte de cette édition a été revu et corrigé par M. Navier. Les planches l'ont été également, et l'on a ajouté deux planches nouvelles contenant les dessins de divers ponts ou aquéducs anciens, et des principaux ponts construits dans ces dernières années. Au moyen de ces changements, l'ouvrage est mis au niveau des connaissances actuelles.

BÉLIDOR. Architecture hydraulique, ou l'Art de conduire, d'élever et de ménager les eaux pour les besoins de la vie, nouvelle édition, avec des notes et additions par M. Navier, ingénieur des ponts-et-chaussées. 4 volumes in-4° reliés (Rare.) Prix : 162 fr.

Le tome Ier contient les principes de la mécanique et l'établissement des diverses espèces de moulins et des machines à élever l'eau. Prix : 45 fr.

Le tome II est sous presse.

— La Science des Ingénieurs, 1 volume in-4°, grand papier. Nouvelle édition; avec un grand nombre de notes par M. Navier, 1813. Broché, 36 fr.

TYPOGRAPHIE DE FIRMIN DIDOT, RUE JACOB, N° 24.